

I. *Ueber die elektrische Funkenentladung in Flüssigkeiten; von Peter Riefls.*

(Aus den Monatsbericht. d. Akad. Juli 1857.)

In einer im vorigen Jahre der Akademie gemachten Mittheilung habe ich angeführt, daß bei der Entladung einer Leydener Batterie durch einen metallischen Schließungsbogen, der durch eine Wasserschicht unterbrochen ist, zwei sichtbar verschiedene Arten der Entladung in der Flüssigkeit stattfinden können. Bei der discontinuirlichen Entladung wurde in der Flüssigkeit ein blendender, von einem starken Schalle begleiteter Funke sichtbar, bei der continuirlichen wurde weder Licht noch Geräusch bemerkt. Ob die eine oder die andere Entladungsart eintrat, hing, bei constanter Ladung der Batterie und Entfernung der Elektroden, von dem Gehalte des Wassers an Kochsalz, und von der Beschaffenheit der Endflächen der Elektroden ab; die Bekleidung dieser Endflächen mit der zartesten Oelhaut reichte hin, statt der continuirlichen die Funkenentladung eintreten zu lassen. Neben dem, unmittelbar in die Sinne fallenden Unterschiede beider Entladungsarten, war ihre Verschiedenheit mittelbar, aber nicht weniger merklich in der Wirkung, welche die Entladungen auf den metallischen Theil der Schließung äußerten. Die Erwärmung dieses Theiles war bei der Funkenentladung beträchtlich größer, als bei der continuirlichen, ein Erfolg, der mit der Vorstellung vollkommen übereinstimmte, die ich von dem Mechanismus der discontinuirlichen Entladung gegeben hatte. Weniger deutlich war die Ursache des Einflusses, den der Zusatz von Kochsalz zum Wasser

auf die Wirkung der Funkenentladung äufserte. Während ein solcher Zusatz, wie schon früher bekannt war, die Wirkung der continuirlichen Entladung steigerte, war in den wenigen Versuchen, die ich darüber angestellt hatte, eine bedeutende Schwächung merklich, die dasselbe Mittel in der Wirkung der Funkenentladung hervorbrachte. Ich mußte es unentschieden lassen, ob diese Schwächung allein davon herrührte, daß in Salzwasser ein Theil der angesammelten Elektricität in Funken, ein anderer Theil continuirlich übergang — oder ob bei veränderter Beschaffenheit der Flüssigkeit die Funkenentladung selbst verändert worden war. (Monatsberichte 1856, S. 252¹.) Die Entscheidung dieser Alternative wünsche ich durch die vorliegende Untersuchung herbeigeführt zu haben.

Funken-Entladung in Salzwasser.

In den früheren Versuchen war, ohne Anwendung des Oeles, die Funkenentladung nur in reinem Wasser und in solchem hervorgebracht worden, das in 100 Theilen 0,041 Theil getrockneten Kochsalzes enthielt. Die Elektroden bestanden aus zwei horizontalen, 10 Linien langen, 1 Linie dicken Platindrähten, die, an verticalen gefirniften Kupferklemmen befestigt und mit ihren ebenen Endflächen $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt, in das Wasser tauchten. Ich vermuthete, daß die nicht unbedeutende Oberfläche der Elektroden, die mit der Flüssigkeit in Berührung kam, eine continuirliche Entladung begünstigte, und damit die Funkenentladung in den stärkeren Salzlösungen hinderte. Die Elektrodenklemmen wurden deshalb in Hüllen aus Gutta-percha gesteckt und die horizontalen Drähte durch die Hüllen geführt, so daß von jeder Elektrode nur ein etwa 3 Linien langes Stück Platindraht mit der Flüssigkeit in Berührung kam. Die folgende Beobachtungsreihe wurde mit der früher gebrauchten Batterieladung ausgeführt, mit der in 3 Flaschen angehäuften Elektricitätsmenge 14, zu deren Messung die Kugeln der Maafsflasche $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt waren. Die angegebenen Erwärmungen

1) Diese Ann. Bd. 98, S. 571.

des im Schließungsbogen befindlichen Thermometers sind zumeist Mittel von zwei nahe übereinstimmenden Beobachtungen, seltener von drei Beobachtungen. Vor jeder Beobachtung wurden die Elektroden aus der Flüssigkeit gehoben, getrocknet und mit Sandpapier gerieben. Die discontinuirlichen Entladungen, die mit Funken und Schall in der Flüssigkeit stattfanden, sind in der Tafel durch ein Sternchen bezeichnet. Die Leitungsflüssigkeit wurde aus destillirtem Wasser und getrocknetem Chlornatrium zusammengesetzt; die erste Zeile giebt an, wie viel Theile des Salzes in 100 Theilen Flüssigkeit enthalten waren.

I.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch	0,041	0,083	0,124	0,167	0,332	1,31
Erwärmung im Schließungsbogen	58,5*	16,9*	9,0*	5,7*	3,8	6,5 15,7.

Die Beschränkung der Elektrodenfläche hatte sich wirksam gezeigt. Die Funkenentladung, die früher schon in der Lösung mit 0,083 Proc. Kochsalz ausgeblieben war, hatte hier noch bei dieser und der folgenden stärkeren Lösung stattgefunden. Sonst war der Gang der Erwärmungen der früher beobachtete: mit steigender Menge des gelösten Salzes eine schnelle Abnahme der Erwärmung bei den Funkenentladungen bis zum Eintritte der continuirlichen Entladung, und bei dieser eine langsame Zunahme.

Die krummen Flächen der Platindrähte wurden mit Siegelackfirnis bekleidet und stark getrocknet, so daß nur die ebenen, hier $\frac{1}{4}$ Linie von einander entfernten, Endflächen der Drähte metallisch blieben. Damit wurde die folgende Beobachtungsreihe erhalten.

II.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch	0,041	0,083	0,125	0,208	0,314
Erwärmung im Schließungsbogen	66,8*	32,8*	13,4*	7,9*	3,9 4,6.
Salzgehalt	0,415	0,826	1,23	1,64	2,04 2,44
Erwärmung	6	10,7	15,4	16,9	20,6 23,4.

Diese Reihe zeigt eine geringere Abnahme der Erwärmung durch die erste Salzlösung, als die vorige Reihe, von
12 *

der sie sonst nicht wesentlich verschieden ist. Die Funkenentladung war in keiner stärkeren Lösung, als dort, vorgekommen. Die Siegelackschicht hatte nicht, wie beabsichtigt war, die Entladung auf die metallischen Endflächen der Elektroden beschränkt, und war durch die Entladung an mehreren Stellen abgesprengt worden. Ich habe dieß Absprengen selbst an Drähten bemerkt, die mit einer dünnen Schicht geschmolzenen Siegelacks bekleidet waren.

Die Guttaperchahüllen, in welchen sich die Elektroden befanden, wurden nun bis zu den Endflächen der Platindrähte vorgeschoben, und ihr Zurückweichen durch eingeschobene Keile verhindert. Die Elektroden blieben in der Flüssigkeit vollkommen trocken, und nur ihre, $\frac{7}{12}$ Linie von einander entfernten, Endflächen wurden benetzt. Diese Einrichtung entsprach dem Zwecke, und die Funkenentladung entstand in der stärksten Salzlösung, die gerade zur Hand war. Ich konnte daher zur folgenden Reihe eine geringere Ladung der Batterie benutzen, als bisher, was zur Schonung des Thermometers und des Gefäßes wünschenswerth war, in dem sich die Flüssigkeit befand. Es wurde die Elektrizitätsmenge 10 in 3 Flaschen gebraucht. Da von hier an überall die Funkenentladung statt hatte, so ist sie in den Tafeln nicht mehr besonders bezeichnet worden.

III.

Salzgehalt procentisch					0,166	0,415	0,826	1,23	1,64
Erwärmung im Schließsbogen	35,3	30,4	29,1	20,6	15	12,7			
Salzgehalt	2,04	2,44	2,83	3,22	4,00	4,95			
Erwärmung	9,7	9,3	10,4	11,6	12,6	14,2			

Die Erwärmung nahm bei Anwendung von immer stärkeren Lösungen sehr langsam ab, erreichte erst, als sich 2,44 Proc. Kochsalz in der Flüssigkeit befanden, ihren kleinsten Werth, und nahm von da an langsam wieder zu. Der Funke in den schwächeren Lösungen war blendend weiß und schallend, in den stärkeren Lösungen gelblich und von dumpferem Schalle.

Die bisherigen Versuche waren in einer Guttapercharinne, $8\frac{1}{4}$ Zoll lang $1\frac{3}{4}$ breit, angestellt worden, die mit 10 Unzen destillirten Wassers gefüllt war. Da von hier an die Elektrodenhüllen aus Guttapercha nicht mehr benutzt wurden, so konnte eine Rinne aus starkem Glase, im Lichten $3\frac{1}{6}$ Zoll lang, 1 Zoll breit, angewendet werden, zu deren Füllung nur 2 bis $2\frac{1}{2}$ Unzen Wasser erforderlich waren. Zur folgenden Versuchsreihe wurden sehr kleine Elektrodenflächen genommen. Kupferdrähte von $\frac{1}{8}$ Linie Dicke wurden fest in enge Glasröhren eingeschmolzt, und das Glas abgeschliffen, bis eine Kupferfläche erschien. Die Kupferflächen beider Elektroden waren $\frac{7}{10}$ Linie von einander entfernt. Zur Ladung der 3 Flaschen wurde die Elektrizitätsmenge 12 gebraucht.

IV.

Salzgehalt procentisch			0,103	0,61	0,92	1,52
Erwärmung im Schließungsbogen	56,4	52	47,8	41,2	30,7	

Salzgehalt	2,11	2,70	3,85	4,89	6,71	8,48	10,16
Erwärmung	20,2	13,9	12,4	12	12,2	13,4	14,5

Salzgehalt	11,80	13,37	15,62
Erwärmung	16,5	17,8	18,8

Die Entladung in der Flüssigkeit fand überall mit einem glänzenden Funken und starkem Schalle statt. Beide Erscheinungen nahmen mit zunehmender Stärke der Salzlösung zwar ab, aber doch so wenig, daß der Glanz des Funkens selbst bei der letzten Beobachtung dem Auge empfindlich fiel. Obgleich nicht das Ausbleiben der Funken dazu nöthigte, wie früher, so wurden die Elektroden von Zeit zu Zeit aus dem Wasser gehoben und mit Sandpapier gerieben, weil sonst die Erwärmungen zu gering ausfielen.

Die vier mitgetheilten Versuchsreihen unterscheiden sich von einander durch die abnehmende Größe der mit dem Wasser in Berührung gebrachten Elektrodenfläche, die in der ersten Reihe über 32 Quadratlinien, in der letzten 0,022 Quadratlinie betrug. Die unmittelbare Erscheinung der

Entladung bei steigender Menge des zugesetzten Salzes wurde dadurch in der Art geändert, daß in Reihe I und II die leuchtende und schallende Entladung bald durch die unmerkliche continuirliche Entladung ersetzt wurde, in Reihe III und IV hingegen durchweg statt hatte. Die Erwärmung im metallischen Theile des Schließungsbogens erfuhr im Allgemeinen dieselbe Aenderung in den 4 Reihen, sie nahm zuerst ab, und nach Erreichung eines kleinsten Werthes wieder zu. Nur geschah die anfängliche Abnahme und spätere Zunahme desto schneller, je größer die Elektrodenfläche war, und der kleinste Werth wurde deshalb erst bei einer desto stärkeren Concentration des Salzwassers erreicht, je kleiner die Fläche war. Es trat nämlich das Minimum der Erwärmung ein,

in Reihe	I.	II.	III.	IV.
mit dem procentischen Salzgehalte der Flüssigkeit	0,167	0,208	2,44	4,89.

Diese Bemerkungen führen zur Ursache der Erscheinung. Die discontinuirliche Entladung führt in gleicher Zeit eine größere Elektricitätsmenge durch den Schließungsbogen, als die continuirliche, so daß, wenn eine bestimmte Elektricitätsmenge in Funken oder continuirlich durch dieselbe Flüssigkeit entladen wird, die Erwärmung des metallischen Theiles der Schließung im ersten Falle ungleich größer ist, als im zweiten (Monatsberichte 1856 S. 251). In den oben mitgetheilten Versuchen fand aber die Funkenentladung nur zwischen den nächsten Flächen der Elektroden statt, und der große Einfluß, den die (in der ersten Versuchsreihe bis 10 Linien) von dem Funken entfernten Theile der Elektroden auf die Größe der Erwärmung hatten, lehrt, daß hier zugleich eine continuirliche Entladung im Spiele war. Daß diese, neben der Funkenentladung, auftreten kann, ist nicht auffallend. Ich habe es wahrscheinlich gemacht (Poggendorff's Annalen Bd. 99, S. 8), daß der Funke erst einige Zeit später ausbricht, als der Leiter die dazu genügende, oder selbst eine größere Elektricitätsmenge erhalten hat. Ehe also die erste discontinuirliche Partialentladung stattfindet in der Flüssigkeit, können continuir-

liche Partialentladungen eintreten, die einen Theil der Elektricität von den Elektroden fortführen. Die Menge der fortgeführten Elektricität nimmt zu mit der größeren Ausdehnung der Elektroden und mit dem größeren Salzgehalte des Wassers; Letzteres, weil dann die continuirlichen Entladungen schneller einander folgen. Die in der Batterie angehäuften constante Elektricitätsmenge nimmt mit den Partialentladungen allmählich ab. Eine discontinuirliche Partialentladung findet so lange statt, als jene Menge noch hinlänglich groß ist, die Elektroden mit so viel Elektricität zu versehen, daß die Endflächen derselben, ungeachtet der durch die continuirliche Entladung fortgeführten Elektricität, die zur Funkenentladung nöthige Menge besitzen. Durch steigenden Zusatz von Salz zum Wasser muß demnach die Zahl der stattfindenden discontinuirlichen Partialentladungen verringert, und zwar um desto mehr verringert werden, je ausgedehnter die Elektrodenfläche ist, so daß bei hinlänglich großer Elektrodenfläche bald der Punkt eintritt, an dem die Funkenentladung gänzlich aufhört. Hiermit ist eine Erklärung der beschriebenen Versuche, und außerdem des merkwürdigen Umstandes gegeben, daß die natürliche Unreinheit der Elektrodenfläche die Funkenentladung begünstigt, ein fettiger Ueberzug derselben die ausgebliebene Entladung wiederherstellt. Bei rein metallischer Beschaffenheit der Endflächen der Elektroden findet nicht nur an diesen Flächen, ehe der Funke ausbricht, eine (wegen der daselbst vorhandenen Dichtigkeit) heftige continuirliche Entladung statt, sondern die elektrische Dichtigkeit dieser Flächen wird auch momentan verringert durch die continuirliche Entladung an entfernten Stellen der Elektroden. Bei unreiner Oberfläche der Enden ist an ihnen die continuirliche Entladung schwächer, und die Dichtigkeit an den Enden wird nicht momentan durch den an anderen Stellen eintretenden Elektricitätsverlust verringert. Die Endflächen können daher eine längere Zeit die zur Funkenentladung nöthige elektrische Dichtigkeit behalten. Ferner ist hierdurch die seit lange bekannte

Thatsache erklärt, daß bei bestimmter Entfernung der Elektroden in einer Flüssigkeit die Funkenentladung eine desto stärkere Ladung der Batterie verlangt, je besser die Flüssigkeit die continuirliche Entladung leitet. Weil nämlich die Funkenentladung erst nach einer continuirlichen Entladung eintritt, so muß die dazu nöthige Elektrizitätsmenge desto größer seyn, je mehr davon die continuirliche Entladung fortführt. Ebenso hat die Wirksamkeit der in Glas eingeschmelzten Drähte (Wollastons Elektroden) bei der Zersetzung von Flüssigkeiten durch Elektrizität darin ihren Grund, daß die continuirliche Entladung an der Oberfläche auf ein Minimum gebracht, und fast die ganze Elektrizitätsmenge discontinuirlisch entladen wird.

Aus dem gleichen Verlaufe der in den mitgetheilten Reihen durch eine constante Batterieladung hervorgebrachten Erwärmungen läßt sich mit Sicherheit schließen, daß bei jeder Funkenentladung die beiden verschiedenen Entladungsarten wirksam gewesen sind. Die angewandte Elektrizitätsmenge hat sich dabei in zwei, von dem Salzgehalte der Flüssigkeit abhängige, ungleiche Portionen getheilt, von welchen die eine Portion discontinuirlisch, die andere continuirlisch entladen worden ist. Da die discontinuirlische Entladung einer Elektrizitätsmenge eine ungleich stärkere Erwärmung zur Folge hat, als die continuirlische, so folgt hieraus mit Nothwendigkeit: das Eintreten eines Minimum der Erwärmung, die Lage dieses Minimum je nach der Größe der Elektroden, der verschiedene Werth desselben, und die spätere Zunahme der Erwärmung. Bei den sehr kleinen Elektroden der Reihe IV trat indess der kleinste Werth der Erwärmung erst bei starker Concentration der Salzlösung ein und blieb dann eine geraume Zeit constant (von 3,85 bis 6,71 Proc. Salz), um später äußerst langsam zu steigen. Da die Steigerung der Erwärmung des Schließungsbogens durch continuirlische Entladung, bei Zusatz von Kochsalz zur entladenden Flüssigkeit, eine Thatsache ist, so vermuthete ich eine die Steigerung hindernde Ur-

sache, die unmittelbare Aenderung der Funkenentladung bei einem bestimmten Salzgehalte der Flüssigkeit. Diese Vermuthung, durch analoge Fälle in luftförmigen Flüssigkeiten unterstützt, war nicht von der Hand zu weisen, und der Versuch dahin zu lenken. Ich glaube, dieß mit Erfolg gethan zu haben. Wenn daher auch der erste Satz der von mir gestellten Alternative durch die vorgetragene Untersuchung entschieden bejaht wird, und wir bei den Funkenentladungen in Flüssigkeiten zugleich continuirliche Entladungen annehmen müssen, so ist damit der zweite Satz nicht erledigt, wonach die Funkenentladung selbst, je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit, in verschiedener Weise statt findet. Die in dem folgenden Theile aufgeführten Thatsachen werden zeigen, daß beide Sätze der Alternative begründet sind, und daher nicht, einander ausschließend, gegenüber gestellt werden dürfen.

Funkenentladung zwischen ungleichen Elektroden in verschiedenen Flüssigkeiten.

Ein $\frac{1}{6}$ Linie dicker Kupferdraht, in eine Glasröhre eingeschmolzt, deren massives Ende abgeschliffen war, bildete die eine Elektrode, von welcher, $\frac{5}{6}$ Linie entfernt, als andere Elektrode eine $4\frac{5}{6}$ Linien dicke Messingkugel, an dem Ende eines unbedeckten 1 Linie dicken Kupferdrahtes, angebracht war. Die Drahtelektrode lag der inneren Belegung der mit positiver Elektricität geladenen Batterie zunächst, die (wie auch weiterhin, wenn es nicht anders gesagt ist) aus 3 Flaschen bestand, und mit der Menge 12 geladen wurde. Von den beobachteten Erwärmungen des Schließungsbogens, während sich zwischen den Elektroden Wasser mit steigenden Mengen Chlornatrium befand, theile ich nur die folgenden mit, die den Gang der Erwärmungen hinlänglich beurtheilen lassen. Die Erwärmungen sind Mittel aus 3 Beobachtungen. Die Fläche der Drahtelektrode wurde von Zeit zu Zeit mit Sandpapier abgerieben.

V.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch				0,083	0,124	0,287	0,667
Erwärmung im Schließungsbogen	48,3			35,6	33,9	28,3	20,8
Salzgehalt	0,917	1,28	1,62	1,96	2,38		
Erwärmung	16,5	13,5	12,6	9	9,7		

Bei allen Beobachtungen geschah die Entladung in der Flüssigkeit mit blendendem Funken und starkem Schalle. Man sieht die Erwärmungen mit steigendem Salzgehalte der Flüssigkeit langsam abnehmen und erst bei dem Gehalte von 2 Proc. Salz ihren kleinsten Werth erreichen. Es fiel mir auf, dafs es genügte, eine der beiden Elektrodenflächen klein zu nehmen, um einen Gang der Erwärmungen hervorzubringen, der in Reihe III durch Kleinheit beider Elektroden bedingt wurde.

Ueberraschend wurde mir die Wiederholung dieser Versuche, bei welcher ich die grofse Elektrode (die Kugel an ihrem Drahte) der innern Belegung der Batterie zunächst gestellt hatte. Hier drückte die kleinste Menge Kochsalz die Erwärmung so tief hinab, dafs ich die Reihe nicht mehr mit Zusetzung abgewogener Mengen des trocknen Salzes zum Wasser anstellen konnte, und dafür eine Salzlösung hinzusetzen mußte. In der folgenden Tafel sind, wie früher, die Theile des trocknen Kochsalzes angegeben, die in 100 Theilen der Flüssigkeit enthalten waren.

VI.

Salzgehalt d. Flüssigkeit procentisch					0,0206	0,0415	0,0623
Erwärmung im Schließungsbogen	38,4				24,6	16,5	11,3
Salzgehalt	0,083	0,103	0,124	0,206	0,287	0,407	0,527
Erwärmung	7,2	2,6	1,2	1,6	2,3	2,8	3
Salzgehalt	0,667	0,917	1,28	1,61	1,96	2,38	
Erwärmung	3,7	4,8	5,7	7	7,4	8,3	

Alle Entladungen erfolgten in der Flüssigkeit mit hellem schallenden Funken, der bei den stärkeren Lösungen gelblich und weniger blendend erschien, als bei der ersten Stellung der Elektroden. Der Gang der Erwärmungen ist von dem in Reihe V mit denselben Elektroden erhaltenen durch-

aus verschieden. Obgleich, wie dort, die Funkenentladung bei allen Beobachtungen erfolgte, so sank hier die Erwärmung durch Zusatz des Salzes zum Wasser so schnell, daß ein Gewichtstheil Chlornatrium zu 805 Theilen Wasser zugesetzt, die Erwärmung von 38 auf 1 brachte, und zu 4853 Wasser zugesetzt, am Thermometer sehr merklich wurde. Die Batterie war in allen Fällen vollständig, ohne Zurücklassung eines Residuum entladen worden. Ich versicherte mich sogleich davon, daß die Stellung der Elektroden zu den Belegungen der Batterie nur dadurch diesen großen Unterschied in der Wirkung des Entladungsstromes hervorbrachte, daß die Richtung dieses Stromes geändert wurde. Ladet man die Batterie successiv mit positiver und negativer Elektrizität, so werden beide Reihen der Erwärmungen bei einer und derselben Stellung der Elektroden erhalten. Ich werde weiter unten davon beiläufig einige Beispiele anführen, ferner aber die Stellung der Elektroden dadurch bezeichnen, daß ich angebe, ob die bedeckte (Draht-) Elektrode in der Flüssigkeit die positive oder negative Elektrode bildete. Die Erscheinung wurde, zur Prüfung ihrer Empfindlichkeit, mit einigen anderen Flüssigkeiten dargestellt. Reines Schwefelsäurehydrat, dessen specifisches Gewicht bei 15° R. 1,84 betrug, wurde in einer Verdünnung zu Wasser gesetzt, in welches die in der vorigen Reihe benutzten Elektroden tauchten. Die Erwärmungen (Mittel aus zwei Beobachtungen) sind für beide Stellungen der Elektroden angegeben. Die erste Spalte bestimmt die Theile des Schwefelsäurehydrats in 100 Theilen der Leitungsflüssigkeit.

VII.

Gehalt d. Flüssigkeit an Schwefelsäure procentisch.	Die Drahtelektrode	
	positiv	negativ
	Erwärmung.	
0,0173	43,6	35,2
0,0346	39,2	16,1
0,0519	36,6	4,4
0,0691	32,6	1,8
	30,5	2,4

Gehalt d. Flüssigkeit
an Schwefelsäure
procentisch.

Die Drahelektrode
positiv negativ
Erwärmung.

0,103	28,1	3,2
0,172	18,6	5,3
0,667	11,5	7,5
1,13	11,6	8,7
1,57	13,9	11,0
1,99	15,2	12,6

Man sieht, daß der Zusatz von einem Theil Schwefelsäurehydrat zu 5779 Theilen Wasser hinreichte, die Erwärmung im Schließungsbogen von 35 bis 16 zu erniedrigen, und bei Zusatz zu 1926 Wasser auf ihren kleinsten Werth 1,8 zu bringen, im Falle der Strom von der großen zur kleinen Elektrode durch die Flüssigkeit ging. Bei entgegengesetzter Richtung des Stromes trat eine ungleich geringere Erniedrigung der Erwärmung ein. Der Funke in der Flüssigkeit war bei allen Beobachtungen weiß und schallend.

Zu Versuchen in Salpetersäure wurden Platinelektroden genommen: ein $\frac{1}{6}$ Linie dicker Draht, fest in Glas eingeschmolzt, und ein $\frac{1}{4}$ Linie dickes Blech, von dem ein rechteckiges Stück, $8\frac{3}{4} \times 5\frac{1}{2}$ Linien, in die Flüssigkeit tauchte. Die Endfläche des Drahtes stand $\frac{7}{12}$ Linie von dem Bleche entfernt. Die erste Spalte der Tafel giebt an, wie viele Theile einer Salpetersäure von 1,224 specifischem Gewichte in 100 der Flüssigkeit enthalten waren.

VIII.

Gehalt d. Leitungsflüssigkeit
an Salpetersäure
procentisch.

Die Drahelektrode
positiv negativ
Erwärmung.

	45,5	34
0,0173	45,1	26,6
0,0432	41,6	23,1
0,0860	38,8	10,8
0,128		7,2
0,171	34,6	2,8
0,252	33,5	2
0,413	31,6	2,3
0,568	27,5	3,

Gehalt d. Leitungsflüssigkeit an Salpetersäure procentisch	Die Drahtelektrode	
	positiv	negativ
	Erwärmung.	
0,787	24,6	4,
1,07	22,1	6,
1,34	20,2	7,3
1,62	16,8	8,
1,90	13,3	9,
2,44	13,3	10,7
2,98	13,8	10,8
4,05	16,6	14,

Der Funke in der Flüssigkeit war bei allen Beobachtungen weifs und schallend, sein Glanz hatte in den letzten Beobachtungen bedeutend abgenommen. In dieser ausgehnten Reihe ist die Erscheinung noch deutlicher als früher. Bei positiver Drahtelektrode nahm die Erwärmung im Schliessungsbogen sehr langsam ab, erreichte ein Minimum, als die Flüssigkeit 2 Proc. Säure enthielt und nahm dann langsam wieder zu. Bei negativer Drahtelektrode hingegen war bei schneller Abnahme der Erwärmung das Minimum schon bei $\frac{1}{4}$ Proc. Säure erreicht, worauf ein langsames Steigen eintrat. Obgleich daher in dem Intervalle von $\frac{1}{4}$ bis 2 Proc. Säure die Erwärmung im ersten Falle sank, im zweiten stieg, so blieb doch, weil der absolute Werth des Minimum im ersten Falle viel gröfser war als im zweiten, die Erwärmung stets kleiner bei negativer als bei positiver Drahtelektrode in gleicher Flüssigkeit.

Auf dies Verhalten richtete ich meine Aufmerksamkeit in der letzten Versuchsreihe, bei welcher die Platinelektroden in Kalilauge gestellt waren. Das Kalihydrat war angeblich durch Scheidung mittels Alkohol gewonnen, also nicht ganz rein.

IX.

Kalihydrat in 100 Th. d. Flüssigk.	Die Drahtelektrode		Kalihydrat in 100 Th. d. Flüssigk.	Die Drahtelektrode	
	positiv	negativ		positiv	negativ
	Erwärmung.			Erwärmung.	
	49,1	39,1	1,22	28,5	8,6
0,0657	47,8	18,3	1,64	14,8	10,3
0,131	47,2	1,7	2,03	13,5	11,2
0,212	45,8	2,4	2,40	14,5	12,9
0,355	42,1	2,9	2,75	16,3	14,6
0,481	37,9	4,5	3,21	16,9	15,5
0,711	36	6	3,41	17,4	16,8
0,786	31,9	6,6	3,82	18,1	17,6

Der Funke, bei allen Beobachtungen weifs und schallend, brachte in einigen der stärksten Lösungen ein Aufschäumen hervor. Die Erwärmungen zeigen wesentlich denselben Verlauf wie in den früheren Reihen. Bei positiver Drahtelektrode wurde die kleinste Erwärmung erst in der elften der steigend concentrirteren Lösungen erreicht, bei negativer Drahtelektrode bereits in der dritten. Die Reihe ist so weit geführt, bis bei beiden Stellungen der Elektroden nahe dieselbe Erwärmung eintrat. Aber ungeachtet des sehr ungleichen Anfangspunktes, von wo an die Erwärmungen stiegen, ist keine Beobachtung vorgekommen, in welcher die Drahtelektrode, wenn negativ, eine gröfsere Erwärmung geliefert hätte, als wenn positiv.

Von den vier angewandten Arten von Flüssigkeiten war die Schwefelsäure die wirksamste, durch den kleinsten Zusatz zum Wasser die Erwärmung zu erniedrigen. War dabei die kleinere Elektrode negativ, so liefs sich ein Zusatz von 0,0001 zu 1 Theil Wasser auch bei einer oberflächlichen Beobachtung nicht verkennen, und ich suchte die Gränze zu finden, bei der das Thermometer noch den Zusatz der Säure mit Sicherheit angab. Hier aber zeigte sich, dafs das gewöhnlich benutzte destillirte Wasser für solche Versuche nicht rein genug ist. Destillirtes Wasser aus einer Apotheke, einem chemischen Laboratorium und der Struve'schen Anstalt für künstliche Mineralwässer erschien nicht als dieselbe Flüssigkeit. Diesem Umstande schreibe ich es auch zu, dafs der Unterschied der Erwärmungen nach der Richtung des Entladungsstromes bei den ersten Beobachtungen jeder Reihe nicht kleiner und nicht constant war (er variiert im Verhältnisse 100 zu 75 und 80). Ein Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes fand bei jeder der zahlreichen benutzten Flüssigkeiten statt, nur war er klein, wenn die Flüssigkeit für continuirliche Entladung schlechtleitend, noch kleiner, wenn sie gutleitend war, aber grofs bei einer bestimmten dazwischenliegenden Beschaffenheit der Flüssigkeit. Ganz verschwinden sah ich diesen Unterschied nur bei Anwendung des rectificirten Terpen-

thinöls, einer bekanntlich sehr unvollkommen leitenden Flüssigkeit, und überzeugte mich davon, daß er durch Erwärmung einiger der benutzten Flüssigkeiten vergrößert wird. Die gebrauchten Elektroden waren indess zur Anstellung messender Versuche in höherer Temperatur nicht geeignet, so daß ich die Mittheilung solcher Versuche einer späteren Gelegenheit aufsparen muß.

Der Grund der so auffallend verschiedenen Abnahme der Erwärmung, je nachdem eine kleine Fläche positive oder negative Elektrode ist, wird durch die im vorigen Abschnitte gemachte Erfahrung nicht gegeben. Es ist dort, bei Annahme nur Einer Art von Funkenentladung, gezeigt worden, daß die verschiedene Wirkung von einer verschiedenen Elektrizitätsmenge herrührt, die mit Funken entladen wird. Hatten die Elektroden eine große Oberfläche, so wurde von der constanten Elektrizitätsmenge der Batterie ein größerer Theil continuirlich entladen, ein kleinerer Theil mit Funken, die Wirkung der Funkenentladung nahm mit Zusatz des Salzes zum Wasser schnell ab, und die sichtbare Entladung hörte bald auf. Waren die Elektroden klein, so blieb die Funkenentladung durchweg und die Abnahme ihrer Wirkung geschah sehr langsam. In diesem Abschnitte ist nun an mehreren Beispielen gezeigt worden, daß die Wirkung der Funkenentladung schnell oder langsam abnimmt, je nachdem die große Oberfläche positive oder negative Elektrizität in die Flüssigkeit führt. Man könnte an einen, bei den ersten Partialentladungen an der negativen Elektrode elektrolytisch ausgeschiedenen Stoff denken, der die continuirliche Entladung beschränkte. Diese Annahme, schon an sich nicht wahrscheinlich, läßt sich direct widerlegen. Wäre nämlich die Bekleidung der großen Elektrodenfläche mit einem isolirenden Stoffe die Ursache der langsamen Abnahme der Erwärmung, so müßte, wenn eine solche Bekleidung absichtlich vorgenommen wäre, der Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes fortfallen. Dieß ist aber nicht der Fall. In einem Versuche, bei welchem die große mit Olivenöl be-

strichene Elektrode negativ war, fand ich die Erwärmung 44, und die Erwärmung 1, als jene positiv war. Eine einfache Erklärung der besprochenen Erscheinung würde zu geben seyn, wenn wir verschiedene Arten der Funkenentladung in Flüssigkeiten unterscheiden. In luftförmigen Medien sind drei, dem Ansehen und der Wirkung nach sehr verschiedene Arten der discontinuirlichen Entladung bekannt, und es ist ferner bekannt, dafs an derselben Elektrode, je nach der Beschaffenheit des Medium, eine Entladungsart mit der einen Elektrizitätsart leichter zu Stande kommt, als mit der entgegengesetzten (Faraday in *exper. research. series XII*). So ist, um ein Beispiel anzuführen, an einer grofsen Elektrodenfläche das Glimmlicht in freier Luft sehr schwer mit negativer Elektrizität zu erhalten, leicht mit positiver, hingegen in verdünnter Luft leicht mit negativer, schwerer mit positiver Elektrizität. Auch sind sichtlich verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten nicht ganz unbekannt. Der blendende schmetternde Funke, der eine Flüssigkeit durchbricht, ist verschieden genug von den ruhigen fast geräuschlosen Lichtpunkten, die zuerst von Troostwyck und Deimann an den Enden in Wasser tauchender Elektroden gesehen wurden, wobei die discontinuirliche Entladung durch das Auftreten gleicher Zersetzungsproducte an beiden Elektroden angezeigt war. Nehmen wir an, dafs es verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten giebt, dafs diese Arten in verschiedener Zeit ausgeführt werden, und dafs, je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit und der Elektroden, die eine oder die andere Art eintritt, so sind die hier angeführten Versuche in folgender Weise in allgemeinen Zügen abzuleiten.

Die stärkste, in kürzester Zeit ausgeführte, Funkenentladung kommt leicht zu Stande, wenn eine Elektrode von kleiner Oberfläche positive Elektrizität in eine schlechtleitende Flüssigkeit führt. Wird der Flüssigkeit in steigender Menge ein Stoff hinzugesetzt, der ihr Leitungsvermögen für continuirliche Entladung erhöht, so nimmt

die V
weil
meng
sehr
klein
bei d
gewi
geht
da n
tricit
mung
ben
grofs
so k
es tr
zune
tinui
Zeit
dabe
die l
im z
gese
das
ner
cont
men
der l
die Z
und
mir
nung
merk
nuir
boge
wär
ger
Po

die Wirkung der Funkenentladung darum fortwährend ab, weil vor ihrem Eintritte eine immer größere Elektricitätsmenge continuirlich entladen wird. Die Abnahme geschieht sehr langsam, weil die continuirliche Entladung an einer kleinen Fläche eintritt, gerade wie es im ersten Abschnitte bei den beiden Elektroden geschah (Reihe IV). Bei einem gewissen Werthe des Leitungsvermögens der Flüssigkeit geht die starke Funkenentladung in eine schwächere über; da nun hier die Menge der continuirlich entladenen Elektricität bereits groß ist, so muß ein Minimum der Erwärmung und ein darauf folgendes langsames Steigen derselben eintreten. Ist dagegen die Oberfläche der Elektrode groß, welche positive Elektricität in die Flüssigkeit führt, so kommt die starke Funkenentladung schwer zu Stande; es tritt für sie eine schwächere ein und diese geht, bei zunehmendem Leitungsvermögen der Flüssigkeit für continuirliche Entladung, in noch schwächere, eine längere Zeit erfordernde, Entladungen über. Die Erwärmung ist daher verschieden, je nachdem, bei ungleichen Elektroden, die kleinere Elektrode positiv oder negativ ist; sie nimmt im zweiten Falle mit der Menge des der Flüssigkeit zugesetzten Stoffes schnell ab und erreicht ein Minimum, das kleiner seyn muß, als im ersten Falle, weil es in einer weniger leitenden Flüssigkeit eintritt, in welcher die continuirliche Entladung noch keine große Elektricitätsmenge in Anspruch nimmt. Das darauf folgende Steigen der Erwärmung hat denselben Grund, wie im ersten Falle: die Zunahme der continuirlich entladenen Elektricitätsmenge, und findet daher eben so langsam statt. — Diefs scheint mir eine naturgemäße Erklärung der verwickelten Erscheinung zu seyn, und der folgende Satz, als Schlüssel dazu, merkwürdig. »Es giebt verschiedene Arten von discontinuirlicher Entladung in Flüssigkeiten, die den Schließungsbogen verschieden erwärmen. Die ihn am stärksten erwärmende Entladung findet desto leichter statt, je geringer das Leitungsvermögen der Flüssigkeit für continuir-

liche Entladung, und je kleiner die Oberfläche der positiven Elektrode ist.»

Verschiedene Wirkung der verschiedenen Funkenentladungen in Flüssigkeiten.

Verschiedene Funkenentladungen erhält man in jeder der im vorigen Abschnitte gebrauchten Flüssigkeiten, bei Anwendung ungleich großer Elektroden, durch entgegengesetzte Richtung des Entladungsstroms in der Flüssigkeit. Um die Verschiedenheit möglichst groß zu haben, wählt man die eine Elektrodenfläche möglichst klein, und die in den Tafeln bei dem ersten Minimum der Erwärmung angegebene Flüssigkeit. Die verschiedene Richtung des Stromes wird entweder dadurch erhalten, daß die Batterie successiv mit beiden Elektrizitätsarten geladen, oder einfacher dadurch, daß sie immer mit derselben Art geladen wird, und man die Klemmen umsetzt, welche die Elektroden mit dem Schließungsbogen verbinden. Die unmittelbare Erscheinung der Entladung in der Flüssigkeit ist bei verschiedener Richtung des Stromes etwas verschieden, Glanz des Funkens und Stärke des Schalles größer, wenn der Strom von der kleinen zur großen Elektrode geht, als im entgegengesetzten Falle. Aber besonders merkwürdig ist die verschiedene Erwärmung, welche dabei im Schließungsbogen erregt wird. Alle Versuche des vorigen Abschnittes geben dazu Belege, von welchen die auffallendsten hier zur Uebersicht zusammengestellt sind. Die Erwärmung bei positiver kleiner Elektrode ist hierbei in jedem Falle = 100 gesetzt worden.

Leitungsflüssigkeit.		Richtung des Stromes	
		von der kleinen	von der großen
		zur großen	zur kleinen
		Elektrode.	
		Erwärmung im Schließungsbogen.	
1 Chlornatrium und	805 VVasser	100	3½
1 Kalihydrat	762	100	3½
1 Schwefelsäure 1,84 sp. G.	1926	100	5½
1 Salpetersäure 1,224 sp. G.	396	100	6
Luft von 1 Linie Quecksilberdruck		100	168

Das letzte Beispiel, einer früheren Mittheilung entnommen (Monatsberichte 1855, S. 397), zeigt, dafs bei der Funkenentladung in sehr verdünnter Luft, gleichfalls ein Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes zwischen ungleichen Elektroden vorhanden ist, dieser Unterschied aber geringer ist, als in tropfbaren Flüssigkeiten und im entgegengesetzten Sinne stattfindet. Dennoch beruht er, wie ich damals nachgewiesen habe, auf demselben Grunde, wie der hier betrachtete Unterschied, nämlich auf der Verwandlung einer Art der discontinuirlichen Entladung in eine andere.

Neben der erwärmenden Wirkung ist die mechanische Wirkung sehr verschieden bei verschiedener Art der Funkenentladung. Ein Platindraht 7 Linien lang, 0,037 Lin. dick, wurde an der Stelle des Thermometers im Schließungsbogen angebracht, in welchem die Elektroden der Reihe V in Kochsalzlösung von der oben angegebenen Verdünnung tauchten. Als die in Glas eingeschmelzte Elektrode die negative Elektrode bildete, wurde die Elektrizitätsmenge 18 aus 3 Flaschen dreimal durch den Schließungsbogen entladen, ohne dafs der Platindraht die mindeste Aenderung erfuhr. Als aber die bedeckte Elektrode zur positiven Elektrode gemacht war, wurde der Draht durch dieselbe Entladung glühend zersprengt und verschwand spurlos. Dieser Versuch wird mit gleichem Erfolge an gröfseren Drahtlängen angestellt werden können, wenn, bei der dazu nöthigen stärkeren Ladung der Batterie, die Sprengung des Gefäßes nicht gefürchtet wird, in der sich die Salzlösung befindet.

Zur Prüfung der magnetischen Wirkung der verschiedenen Funkenentladungen, liefs ich einen Multiplicator anfertigen, dessen Gewinde aus einem $\frac{1}{2}$ Linie dicken mit Guttapercha bekleideten Kupferdrahte besteht. Von dem, mit seiner Hülle volle 2 Linien dicken Drahte sind 39 Fufs in 3 Lagen in 57 Windungen gelegt. Die einander nächsten Drahtwindungen sind daher durch eine Schicht Gutta-

liche Entladung, und je kleiner die Oberfläche der positiven Elektrode ist.“

Verschiedene Wirkung der verschiedenen Funkenentladungen in Flüssigkeiten.

Verschiedene Funkenentladungen erhält man in jeder der im vorigen Abschnitte gebrauchten Flüssigkeiten, bei Anwendung ungleich großer Elektroden, durch entgegengesetzte Richtung des Entladungsstroms in der Flüssigkeit. Um die Verschiedenheit möglichst groß zu haben, wählt man die eine Elektrodenfläche möglichst klein, und die in den Tafeln bei dem ersten Minimum der Erwärmung angegebene Flüssigkeit. Die verschiedene Richtung des Stromes wird entweder dadurch erhalten, daß die Batterie successiv mit beiden Elektrizitätsarten geladen, oder einfacher dadurch, daß sie immer mit derselben Art geladen wird, und man die Klemmen umsetzt, welche die Elektroden mit dem Schließungsbogen verbinden. Die unmittelbare Erscheinung der Entladung in der Flüssigkeit ist bei verschiedener Richtung des Stromes etwas verschieden, Glanz des Funkens und Stärke des Schalles größer, wenn der Strom von der kleinen zur großen Elektrode geht, als im entgegengesetzten Falle. Aber besonders merkwürdig ist die verschiedene Erwärmung, welche dabei im Schließungsbogen erregt wird. Alle Versuche des vorigen Abschnittes geben dazu Belege, von welchen die auffallendsten hier zur Uebersicht zusammengestellt sind. Die Erwärmung bei positiver kleiner Elektrode ist hierbei in jedem Falle = 100 gesetzt worden.

		Richtung des Stromes	
		von der kleinen zur großen	von der großen zur kleinen
		Elektrode.	
Leitungsflüssigkeit.		Erwärmung im Schließungsbogen.	
1 Chlornatrium und	805 Wasser	100	3½
I Kalihydrat	762	100	3½
I Schwefelsäure 1,84 sp. G.	1926	100	5½
I Salpetersäure 1,224 sp. G.	396	100	6
Luft von 1 Linie Quecksilberdruck		100	168

Das letzte Beispiel, einer früheren Mittheilung entnommen (Monatsberichte 1855, S. 397), zeigt, daß bei der Funkenentladung in sehr verdünnter Luft, gleichfalls ein Unterschied der Erwärmung nach der Richtung des Stromes zwischen ungleichen Elektroden vorhanden ist, dieser Unterschied aber geringer ist, als in tropfbaren Flüssigkeiten und im entgegengesetzten Sinne stattfindet. Dennoch beruht er, wie ich damals nachgewiesen habe, auf demselben Grunde, wie der hier betrachtete Unterschied, nämlich auf der Verwandlung einer Art der discontinuirlichen Entladung in eine andere.

Neben der erwärmenden Wirkung ist die mechanische Wirkung sehr verschieden bei verschiedener Art der Funkenentladung. Ein Platindraht 7 Linien lang, 0,037 Lin. dick, wurde an der Stelle des Thermometers im Schließungsbogen angebracht, in welchem die Elektroden der Reihe V in Kochsalzlösung von der oben angegebenen Verdünnung tauchten. Als die in Glas eingeschmelzte Elektrode die negative Elektrode bildete, wurde die Elektrizitätsmenge 18 aus 3 Flaschen dreimal durch den Schließungsbogen entladen, ohne daß der Platindraht die mindeste Aenderung erfuhr. Als aber die bedeckte Elektrode zur positiven Elektrode gemacht war, wurde der Draht durch dieselbe Entladung glühend zersprengt und verschwand spurlos. Dieser Versuch wird mit gleichem Erfolge an größeren Drahtlängen angestellt werden können, wenn, bei der dazu nöthigen stärkeren Ladung der Batterie, die Sprengung des Gefäßes nicht gefürchtet wird, in der sich die Salzlösung befindet.

Zur Prüfung der magnetischen Wirkung der verschiedenen Funkenentladungen, ließ ich einen Multiplicator anfertigen, dessen Gewinde aus einem $\frac{1}{2}$ Linie dicken mit Guttapercha bekleideten Kupferdrahte besteht. Von dem, mit seiner Hülle volle 2 Linien dicken Drahte sind 39 Fuß in 3 Lagen in 57 Windungen gelegt. Die einander nächsten Drahtwindungen sind daher durch eine Schicht Gutta-

percha von $1\frac{1}{2}$ Linie Dicke von einander getrennt, und ein Ueberspringen der Elektrizität von einer Windung zur nächsten ist vollkommen verhindert. Die verbundenen Magnetnadeln sind $2\frac{3}{4}$ Zoll lang, $\frac{1}{8}$ Lin. dick, ihre Ablenkung wurde in einem Mikroskope beobachtet. Als die Elektroden der Reihe V in die zuletzt gebrauchte Kochsalzlösung tauchten, wurde die früher angewandte Ladung (Elektricitätsmenge 12 in 3 Flaschen) durch den Multiplicator geschickt. Ich erhielt in 3 Versuchen, bei welchen die in Glas eingeschmelzte Elektrode negativ war, die Ablenkungen der Magnetnadeln 4,8 4,2 4,0 in gesetzmässiger Richtung. Aber der Zustand der Nadeln war nicht unverändert geblieben. Zwischen den Beobachtungen mußte der Nullpunkt der Theilung um nahe 1 Grad verschoben werden, und die Dauer von 4 einfachen Schwingungen der Doppelnadel, die vor den Versuchen 55,2 Sekunden betragen hatte, war nach denselben auf 49,3 Sek. gesunken. Noch weit ungenügender waren die Versuche, als die bedeckte Elektrode die positive Elektrode in der Flüssigkeit bildete. Nach 3 Ablenkungen, von welchen jede nahe 1 Grad betrug und zwischen welchen der Nullpunkt der Theilung um fast 4 Grad verschoben werden mußte, fand sich das Nadelsystem gänzlich verändert, da es jetzt zu 4 Schwingungen nur 16,5 Sekunden gebrauchte. Da die über der Theilung schwebende Nadel vor- und nachher dem Systeme die Richtung gab, so folgte, daß die zwischen den Drahtwindungen schwebende Nadel durch die Entladungen bedeutend geschwächt worden war. Discontinuirliche Entladungen dürfen daher auch dann nicht durch einen Multiplicator geschickt werden, wenn der Uebergang von Elektrizität zwischen den Windungen gänzlich vermieden ist. Die Magnetisirung durch solche Entladungen ist zu groß, um das Meßinstrument während der Beobachtungen in einem constanten Zustande zu lassen.

Bei der Prüfung der Magnetisirung von Stahlnadeln durch die Entladungen benutzte ich eine Bussole mit einer

2 Zoll langen, auf einer Spitze leicht beweglichen Magnetnadel. Genau winkelrecht gegen die ruhende Nadel war ein Maafsstab horizontal befestigt, dessen Verlängerung die Mitte der Nadel traf, und auf welchen die zu prüfende Stahl-nadel gelegt wurde, mit ihrem nächsten Ende 20 Linien von dem Mittelpunkt der Bussole entfernt. Nachdem die Ablenkung der Bussolenadel abgelesen war, wurde die Stahl-nadel umgekehrt, und die Ablenkung wiederum abgelesen. Das Mittel dieser beiden Ablesungen ist in der Tafel angegeben. Der Magnetisirung wurden vier, aus englischem Gufsstahle gefertigte, Nadeln unterworfen (38 Linien lang, $\frac{7}{12}$ Lin. dick), welche, wenn sie vor dem Versuche in den angegebenen Lagen die Bussolenadel ablenkten, bis zum Weissglühen erhitzt wurden. Geschah dies Ausglühen bei der Lage der Nadeln von Ost nach West, so war es leicht, sie unmagnetisch zu erhalten. In den Schliessungsbogen war hinter dem Thermometer eine $3\frac{1}{4}$ Zoll lange Magnetisirungsspirale eingeschaltet, welche, aus Kupferdraht schraubenrecht gewunden, die in einer Glasröhre liegende Stahl-nadel aufnahm. Die Nadel wurde hier überall in gesetzmässigem Sinne magnetisirt, und erhielt daher ihren bezeichneten Pol an dem Ende, wo der Entladungsstrom die Spirale verliess. In den acht folgenden Versuchen, bei welchen ich die einzelnen Beobachtungen mittheile, bestanden die in Salzwasser (1 Chlornatrium und 2400 Wasser) tauchenden Elektroden aus einem, bis auf seine Endfläche mit geschmolzenem Siegelack bekleideten, $\frac{5}{8}$ Linie dicken Kupferdrahte, und einer 4 Linien dicken Messingkugel, die vom Drahte $\frac{3}{4}$ Linie entfernt war. Da hier Ladungen der 3 Batteriefaschen zwar mit derselben Menge 12, wie früher, aber verschiedener Elektrizitätsart gebraucht wurden, so ist die Lage der Drahtelektrode gegen die Belegungen der Batterie angegeben.

Ladung mit negativer Elektricität.

Drahtelektrode zunächst der innern		der äußern Belegung d. Batterie.	
Erwärmung.	Ablenkung d. Bussol.	Erwärmung.	Ablenk. d. Buss.
2,7	56°,7	36,5	21°,5
2,8	49°,2	37,6	20°,8
3,1	49°,0	32,0	25°,5

Ladung mit positiver Elektricität.

33,2	27°,2	2,7	54°,7
33,5	22°,0	2,2	44°,9
33,3	24°,6	3,0	49°,6

Diese Versuche zeigen auf das Deutlichste, daß die Funkenentladung, welche die kleinere Erwärmung hervorbringt, eine bedeutend stärkere Magnetisirung der Nadeln verursacht, daß Erwärmung und Magnetisirung unabhängig von der Elektricitätsart sind, mit der die Batterie geladen worden, und daß ihre Größe allein durch die Richtung des Entladungsstromes, und zwar hier in entgegengesetztem Sinne, bestimmt wird.

Die folgenden vier Versuche sind mit den Elektroden der Reihe V in Salzwasser angestellt, daß 1 Chlornatrium und 805 Wasser enthielt. Die Batterie war mit positiver Elektricität geladen worden.

Die Drahtelektrode

zunächst der innern		der äußern Belegung d. Batterie.	
Erwärmung.	Ablenkung d. Bussol.	Erwärmung.	Ablenk. d. Buss.
33,1	24°,7	1,2	48°,5
35,7	21°,2	1,2	51°,5
33	21	1,2	48°,1

In allen Versuchen, die ich mit denselben Nadeln angestellt habe, kam keine Ausnahme von der Regel vor, daß die schwächere Funkenentladung stärker magnetisierend wirkt, als die stärkere. Bei den bekannten Eigenthümlichkeiten der Magnetisirung würde es indess nicht auffallen, wenn bei Nadeln von andern Dimensionen, oder bei anderer Ladung der Batterie, diese Regel ungültig wäre. Es kommt hier nur auf die Verschiedenheit der Magnetisirung, nicht darauf an, in welchem Sinne sie sich äußert.

Die so auffallend verschiedenen Wirkungen, von scheinbar gleichen Entladungen der Batterie hervorgebracht, haben nicht nur in dem Gebiete Interesse, dem sie angehören, sondern verdienen auch in andern Gebieten der Elektrizitätslehre Beachtung. Nehmen wir an, es fehlte uns das Mittel, die in einer Batterie angehäuften Elektrizitätsmenge zu messen, und wir wollten diese Menge aus den Wirkungen beurtheilen, welche scheinbar gleiche Funkenentladungen in demselben Schließungsbogen hervorbringen. Dann würden wir die Mengen positiver und negativer Elektrizität, mit welchen die Batterie in den Versuchen dieser Abhandlung geladen war, für sehr ungleich erklären, und damit einen Fehlschluss begehen. Was hier für discontinuirliche Entladungen bewiesen worden ist, findet sehr wahrscheinlich auch bei vielen, scheinbar continuirlichen Entladungen statt, und ich habe mit Befriedigung durch diese Versuche eine Meinung unterstützt gefunden, die ich vor längerer Zeit ausgesprochen habe. Aus den Wirkungen bewegter Elektrizität läßt sich nur dann auf die dabei verbrauchten Elektrizitätsmengen schließen, wenn wir gewiß sind, daß die Art der Entladung bei ihnen dieselbe gewesen ist.

II. Ueber die Länge der Elektromagnete; von Dr. Julius Dub.

Alle Versuche, die bisher über die Länge der Elektromagnete angestellt worden sind, haben noch keinen genügenden Aufschluß über sämtliche Erscheinungen gegeben, die sich in den verschiedenen Fällen darbieten. Schon früher ist hervorgehoben, daß ein Unterschied zwischen der Wirkung eines Hufeisens und der eines Stabes aus dem Grunde stattfinden müsse, weil durch das Auflegen

des Ankers in beiden Fällen eine verschiedene Vertheilung des Magnetismus bewirkt wird. Während nämlich bei einem Stabmagneten durch das Anlegen eines zweiten Stabes als Anker der in dem Magnetstabe vorhandene Nullpunkt aus seiner Stelle gerückt wird, findet dies bei einem Hufeisen nicht statt. Die Art der Wirkung eines Hufeisens ist eine ganz andere als die eines Stabes und es kann daher nicht Wunder nehmen, wenn die Gesetze auch in beiden Fällen nicht gleich sind.

In Bezug auf die Hufeisen ergibt sich nach Müller's Versuchen, was auch ich bestätigt gefunden habe,

„dass die Anziehung dieselbe ist bei jeder beliebigen Länge der Schenkel und derselben magnetisirenden Kraft“¹⁾.

In Uebereinstimmung hiermit stellen Lenz und Jacobi auch für die Stabelektromagnete den Satz auf:

„dass der Magnetismus der Endflächen bei Elektromagneten, die ihrer ganzen Länge nach mit elektromagnetischen Spiralen bedeckt sind, von der Länge dieser Stangen unabhängig ist, und bei gleichen Strömen bedingt wird durch die Anzahl der darauf befindlichen Windungen“²⁾.

Es ist hierbei nicht ausdrücklich gesagt, dass Stabmagnete gemeint seyen, doch ergibt die Darstellung, dass die Experimentatoren es so ansehen, obgleich ihr Experiment so eingerichtet ist, dass sie Hufeisenwirkung erhalten, wie man aus der Beschreibung des Versuchs leicht ersieht. Somit wäre hiernach die Sache einfach erledigt, wenn die HH. Lenz und Jacobi nicht später noch andere Versuche als Bestätigung des obigen Satzes und der genannten Versuche anführten, welche wirklich Versuche mit Stabelektromagneten sind. Sie sprechen sich daher in Folge der letztgenannten Versuche, auf die wir sogleich wieder zurückkommen werden, ebenfalls für den Satz aus, *dass die Länge der Stäbe ohne Einfluss ist.*

Mehrere früher von mir zu anderen Zwecken angestellten Versuche zeigten Resultate, welche mich zwangen dem

1) Müller, Phys. Bericht Bd. I, S. 531 und diese Ann. Bd. 90, S. 453.

2) Diese Annalen Bd. 61, S. 268.

hier aufgestellten Satze zu widersprechen. Gemäß der nachfolgenden Untersuchungen muß ich diesen Widerspruch aufrecht erhalten und zugleich bemerken, daß die von Lenz und Jacobi angestellten Versuche nur einige specielle Fälle behandeln, in denen zufällig der von ihnen aufgestellte Satz gilt, ohne daß er deshalb das allgemeine Gesetz der Wirkung der Stabelektromagnete darstellte.

Wie diese Versuche nicht maßgebend sind, ebenso wenig liefert aber auch eine von mir in Bd. 81, S. 52 dieser Annalen aufgestellte Versuchsreihe einen Beweis *gegen* den von Lenz und Jacobi ausgesprochenen Satz. Ich habe dort mit 1" dicken Mag-

neten von	9"	12"	18"	24"
als Tragkräfte erhalten:	2,6 Pfd.	3,27 Pfd.	3,6 Pfd.	3,8 Pfd.

Aus dieser Reihe habe ich den Schluss gezogen, daß die Länge der Magnete nicht ohne Einfluss auf die Anziehung und Tragkraft sey. Allein diese Reihe enthält, wenn sie zum Beweise des Satzes dienen soll, nothwendig Fehler in Folge der Anordnung des Experiments. Da nämlich die Versuche eigentlich Behufs der Prüfung der Elektromagnete Hinsichts ihrer Wirkung auf Entfernung angestellt waren, so trugen die Magnete an dem Pole eine Messinghülse, welche bewirkte, daß die Spirale nicht bis dicht an den Pol gebracht werden konnte, sondern stets $\frac{3}{4}$ " von demselben entfernt blieb. Nun ist aber gerade die Entfernung der Spirale vom Pol von bedeutendem Einfluss auf die Anziehung, wie ich das schon an Hufeisen in diesen Annalen Bd. 90, S. 478 nachgewiesen habe. Hätte dieser Einfluss nicht hervortreten sollen, so mußte die Entfernung der Spirale vom Pol selbst proportional der Länge der Magnete zunehmen. Wäre nämlich die Spirale, während sie bei dem 9" langen Magneten $\frac{3}{4}$ " vom Pole entfernt war, bei dem 12 zölligen 1" und bei dem 24 zölligen 2" vom Pol entfernt gewesen, so würde nach den hier folgenden Untersuchungen die Tragkraft wie die Anziehung für diese Magnete gleich gewesen seyn.

Wenn ich nun aber die von mir zum Beweise des

Satzes, daß die Anziehung sich mit der Stablänge vergrößere, angeführten Versuchsreihen für werthlos erklären muß, so kann ich andererseits eine Reihe von Lenz und Jacobi als *Begründung* meiner Behauptung heranziehen. Sie machen nämlich folgende zwei Versuche ¹⁾: »Das Ende eines 3füßigen Eisencylinders war mit einer 6" langen Inductionsspirale, der übrige Theil desselben von 2½' Länge mit fünf galvanischen Spiralen, jede von 6" Länge bedeckt, die nach und nach mit der Batterie in Verbindung gesetzt wurden.« Sie erhalten folgende Reihe:

Anzahl der galvanischen Spi- ralen = n	Stärke des Inductionsstro- mes = M	$\frac{M}{n}$
1	0,13290	13390
2	0,23980	11990
3	0,31544	10514
4	0,36285	9071
5	0,37278	7456

»Die in der ersten Colonne befindlichen Zahlen geben die jedesmalige Anzahl der elektromagnetischen Spiralen an und zwar von der Inductionsspirale an gerechnet. Die dritte Colonne giebt die Inductionsströme dividirt durch die Anzahl der Spiralen, woraus man, wie sich auch erwarten ließe, ersieht, daß bei einer solchen Anordnung die magnetisirende Wirkung der vom Ende entfernter liegenden Spiralen abnimmt und nicht compensirt wird durch die früher erwähnte gegenseitige Verstärkung.«

Der darauf folgende Versuch, den Lenz und Jacobi anstellen, wird von ihnen in folgender Weise beschrieben: »Aehnliche Versuche, wie die so eben angeführten, wurden nun mit den sechs verschiedenen Eisencylindern von 1', 1½', 2', 2½', 3' Länge angestellt, die zu früheren Versuchen gedient hatten. Bei jedem derselben war das eine Ende auf 6" Länge mit einer Inductionsspirale, der übrige Theil aber mit verhältnißmäßiger Anzahl galvanischer Spiralen

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 462.

bedeckt. Die Zahlen der vierten Colonne geben die Magnetisirungskraft einer Spirale oder den Inductionsstrom, dividirt durch die Anzahl der Spiralen an.

Länge der Eisen- cylinder	Anzahl der galvanischen Spiralen = n	Stärke des In- ductionstrome = M	$\frac{M}{n}$
1'	1	0,07432	7432
1 $\frac{1}{2}$ '	2	0,15858	7929
2'	3	0,23556	7852
2 $\frac{1}{2}$ '	4	0,28522	7105
3'	5	0,40474	8005

Lenz und Jacobi sagen nun: »dafs 6" lange, mit einer Inductionsspirale bedeckte Stück der Eisencylinder kann man aber als einen Anker betrachten, der in der innigsten Berührung mit dem Elektromagneten steht, weil er mit demselben *eins* bildet. Auch hier zeigen die Zahlen der vierten Colonne keine ganz vollkommene Uebereinstimmung, aber auch keinen specifischen, die oft erwähnten Fehlerquellen überwiegenden Einfluß der Länge, so dafs auch für diesen Fall die Stärke des Magnetismus nicht durch die Länge der Eisenstangen an sich, sondern allein durch die Anzahl der elektromagnetischen Spiralwindungen bedingt ist.«

In diesem letzten Falle erhalten sie also in der That keine Wirkung der Länge der Eisenkerne; aber dieser Fall unterscheidet sich von dem ersten allein dadurch, dafs bei jenem die Länge der Kerne eine andere ist als hier. Wäre die Länge der Eisenstangen überhaupt ohne Einfluß, so müßten die Zahlen der ersten Tabelle den hier erhaltenen gleich oder wenigstens nur durch einen constanten Factor von jenen verschieden seyn. Die in der ersten Tabelle auftretenden Verschiedenheiten der Quotienten beweisen im Vergleich mit dieser letzten Tabelle, dafs nicht immer die Länge der Stäbe ohne Einfluß ist. Zwar sagen Lenz und Jacobi, es ließe sich bei der Anordnung des ersten Versuchs erwarten, dafs die magnetisirende Wirkung der vom Ende entfernter liegenden Spiralen ab-

nimmt; allein wir werden später Gelegenheit haben zu zeigen, daß auch bei dem zweiten Versuche nicht immer Gleichheit der besagten Quotienten statt findet, sondern auch hier Verschiedenheiten eintreten, die nach obigem Gesetz nicht statthaft sind. Ich entschloß mich aus diesen Gründen zu einer wiederholten Untersuchung der vorliegenden Frage. Vor allen Dingen ist zu beachten, daß, wenn von der Länge der Elektromagnete die Rede ist, man unterscheiden muß, ob der Kern bei gleichbleibender Spirale allein an Länge zunimmt oder ob auch die Spirale zugleich verlängert wird. Findet der letztere Fall statt, so kann einerseits das Wachsen der Spirale darin bestehen, daß auf dem verlängerten Kern die Windungszahl der galvanischen Spirale so weit vermehrt wird, bis der Kern ganz bedeckt ist, oder andererseits darin, daß die *vorhandene* Windungszahl über die vergrößerte Länge des Kernes ausgebreitet wird, so daß sie diesen wieder ganz bedeckt.

Von diesen drei Fällen haben Lenz und Jacobi nur die ersten beiden theilweise untersucht und sind dabei zufällig auf solche Fälle gekommen, die ihr Gesetz rechtfertigen. Sie haben untersucht, erstens, welche Erscheinungen sich bei Magneten zeigen, die nicht ihrer ganzen Länge nach mit Spiralwindungen bedeckt sind, sondern bei denen die Windungen nach *beiden* Enden hin zusammengeschoben waren und zweitens, welchem Gesetze die Anziehung solcher Magnete folgt, die mit der vergrößerten Länge des Kernes auch in demselben Maasse mehr Windungen tragen. Der dritte Fall ist bisher noch gar nicht experimentell geprüft, obschon er unzweifelhaft zur Ergründung des Gesetzes, nach welchem die Stablänge wirkt, wegen der geringeren Anzahl der ins Spiel kommenden Momente, am meisten geeignet ist.

Bevor ich zur Darstellung der Untersuchungen schreite, die ich zur Prüfung des dritten Falles unternommen habe, muß ich noch einige Bemerkungen über die Art, wie die Versuche angestellt wurden, vorausschicken.

Um stets alle erhaltenen Resultate auch ihrem absoluten Werthe nach mit einander vergleichen zu können, wählte ich bei sämmtlichen Versuchen dieselbe Stromstärke und dieselbe Windungszahl, oder besser gesagt, ich wandte stets dieselbe magnetisirende Kraft an. Weil dadurch, nachdem sich erst eine Gesetzmäßigkeit in dem Vorgange herausgestellt hatte, eine Menge anderer Fälle sich als gleich herausstellen mußten, wenn das Gesetz richtig seyn sollte, und andererseits, sobald unter verschiedenen Verhältnissen Gleichheit der Werthe erschien, die Gesetzmäßigkeit augenfälliger wurde; so trug dieß Mittel nicht wenig zur Erkennung des Gesetzes bei.

Das Wesen der meisten hier angestellten Versuche bestand darin, daß dieselbe Windungszahl der galvanischen Spirale auf größere Längen ausgedehnt oder zu kürzeren zusammengeschoben wurde. Bei der Verschiedenheit der Längen der Eisenkerne aber, welche bei den folgenden Untersuchungen zur Anwendung kamen, wäre es sehr mühsam gewesen, eben so viele verschieden gewickelte Spiralen von derselben Windungszahl herzustellen. Dieß wurde vermieden durch Anwendung des Satzes, daß der freie Magnetismus dem Product aus Stromstärke und Windungszahl proportional ist. Hiernach war es nur nöthig, bei der gewünschten Ausdehnung einer Spirale auf eine größere Länge, die Windungszahl zu vermehren und in demselben Verhältniß die Stromstärke zu vermindern, so daß das Product aus beiden eine constante Zahl blieb. Die constante Zahl ist bei den hier folgenden Versuchen, wenn es nicht besonders angeführt wird $336.0,36397$. Sie bedeutet die Anzahl der Windungen einer Spirale, welche 1" weit und etwa 11" lang ist, multiplicirt mit der Tangente des Winkels von 20° , um den der angewandte Strom die Nadel der Tangentenbussole ablenkte. Hiernach war jede andere Stromstärke bei Vergrößerung oder Verringerung der Windungszahl im Voraus berechnet und in eine Tabelle zusammengestellt worden. Ich nenne in der Folge das Product aus Stromstärke und Windungszahl der Kürze

wegen „magnetisirende Kraft“ oder elektromagnetischen Effect.

I. Der freie Magnetismus der Stabelektromagnete von verschiedener Länge.

Wie bei den Versuchen über die Wirkung der Kerndurchmesser ¹⁾ wurde auch hier der freie Magnetismus mittelst der Ablenkung einer Magnetenadel gemessen. Der Stabmagnet lag mit seiner Längsaxe genau senkrecht gegen den magnetischen Meridian und in der Verlängerung der Axe befand sich die an einem Coconfaden hängende Magnetenadel, auf welche der Magnet wirkte. Die Nadel hat 1' Länge und ist auf einem 6" langen Kupferstäbchen behufs des besseren Ablesens befestigt.

In eine 6" lange Spirale mit 156 Windungen wurden nun Eisenkerne von verschiedener Länge und 1" Durchmesser in der Weise eingeführt, daß sie auf der der Bussole zugekehrten Seite nicht hervorstanden. Die Entfernung des nächsten Poles von der Mitte der Nadel betrug bei obigen Messungen 21", während eine Stromstärke angewandt wurde, welche die Nadel der Tangentenbussole auf 20° ablenkte. Es ergab sich folgende Reihe:

I.				
Magnet	6" lang		$9\frac{1}{2}^{\circ} = \text{tg } 0,16$	
"	9	"	$14\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,25$
"	12	"	20	$\text{tg } 0,36$
"	15	"	$21\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,39$
"	18	"	23	$\text{tg } 0,42$
"	21	"	$25\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,48$
"	24	"	$26\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,5$

Ein Versuch mit einer 12" langen Spirale und doppelter Windungszahl als die vorige ergab bei derselben Stromstärke nachstehende Reihe:

1) Diese Annalen Bd. 90, S. 250.

II.

Magnet	12" lang	$27\frac{1}{2}^{\circ}$	$= \text{tg } 0,52$
"	15 "	$33\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,66$
"	18 "	$38\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,79$
"	21 "	$41\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,88$
"	24 "	$42\frac{3}{4}$	$\text{tg } 0,92$

Diese beiden Reihen zeigen eine beständige Zunahme mit der Länge der Eisenkerne und gleicher magnetisirender Kraft, ohne dass sich diese Zunahme als eine einfache Function der Länge herausstellte. Sie ist geringer als die Länge der Kerne selbst und gröfser als die Wurzeln derselben. Aehnliche Resultate ergab eine Reihe mit Kernen von verschiedener Länge, bei denen immer die magnetisirende Kraft über die ganze Länge derselben ausgebreitet wurde.

III.

Magnet	6" lang	19°	$= \text{tg } 0,43$
"	9 "	$26\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,5$
"	12 "	$31\frac{1}{4}$	$\text{tg } 0,61$
"	15 "	$34\frac{1}{4}$	$\text{tg } 0,68$
"	18 "	39	$\text{tg } 0,81$
"	21 "	40	$\text{tg } 0,83$
"	24 "	$41\frac{1}{2}$	$\text{tg } 0,88$

Bei den hier angegebenen Graden der Nadelablenkung ist die durch die Spirale *allein* bewirkte Ablenkung abgezogen. Auch hier lässt sich kein einfaches Gesetz in der Zunahme des freien Magnetismus erkennen. Wenn bei derselben Untersuchung in Bezug auf die Kerndurchmesser sich der freie Magnetismus den Wurzeln der Durchmesser proportional zeigte, so konnte dies darin seinen Grund haben, dass die Kerne von gleicher Länge blieben. Die Wirkung auf die Magnetnadel ist nämlich einerseits von der Menge der magnetischen Theile, andererseits von der Entfernung beider Pole von einander, d. h. von der Länge des Stabes abhängig; denn jede einzelne Windung der galvanischen Spirale richtet in ihrem Querschnitt die Molecularströme in einem bestimmten Grade, d. h. sie bringt

eine bestimmte Menge Magnetismus hervor. Bei verschiedenem Durchmesser des Eisenskerns müssen nun um so mehr Moleculë gerichtet werden, je gröfser jener ist, wogegen bei verschiedener Länge und demselben Durchmesser in um so mehr Schichten von jeder einzelnen aus Magnetismus inducirt werden mufs. Der durch eine bestimmte Anzahl von Windungen hervorgerufene Magnetismus ist also sowohl eine Function der Länge als des Durchmessers des Eisenskerns. Bei den Magneten von verschiedener Länge kommt nun aber Hinsichts der Nadelablenkung noch die Entfernung der Pole mit hinzu, weil der der Nadel zugekehrte Pol eine um so gröfsere Kraft auf sie ausübt, je weiter der entgegengesetzte Pol entfernt ist. Diese Wirkung fällt bei Stäben von gleicher Länge und verschiedenem Durchmesser weg, weil da die Entfernung der Pole dieselbe bleibt.

Es fragt sich nun, welche Erscheinungen sich bei den verschiedenen Längen der Kerne unter Verhältnissen zeigen werde, in denen ebenfalls der gröfsere oder geringere Abstand der Pole von der Nadel wirkungslos gemacht ist. Um diels herzustellen, wählte ich Hufeisenmagnete von verschiedener Länge, deren Schenkel in gleichem Abstände von einander blieben, so dafs auch die Entfernung beider Pole bei jeder beliebigen Länge des ganzen Stabes gleich war. Diese, in bestimmter Entfernung von der Nadel aufgestellt, mufsten die Wirkung der gröfseren Länge des Stabes zeigen, ohne die Ablenkung der Nadel durch den verschiedenen Abstand beider Pole von einander zu ändern. Freilich wird durch die Hufeisenform der Einflufs der Pole auf *einander* verstärkt; da wir es jedoch hier nur mit Verhältnifszahlen zu thun haben und ja der verstärkende Einflufs der Pole auf einander ebenfalls im Verhältnifs des gesteigerten Magnetismus wachsen mufs, so kann diels in dem vorliegenden Falle die Erscheinung nicht abändern.

Die Messung wurde zunächst mit einem 1" dicken Hufeisen, dessen Schenkelaxen 5" von einander entfernt waren, in der Weise angestellt, dafs der Magnet senkrecht

mit d
in gle
stand
Wan
waren
lange
der S
ren S
53" v

I
der
die
Entf
enth
letzt
die

fel,
Pol
die
gan
sine
Stre

den
Ers
P

mit den Polen nach unten stand. Die Pole befanden sich in gleicher Höhe mit der Nadel und ihre Verbindungslinie stand genau senkrecht gegen den magnetischen Meridian. Wandte ich ein Hufeisen an, dessen Schenkel 4" lang waren, so bildete dies mit dem dazwischen liegenden 5" langen Verbindungsstück einen 13" langen Stab. Die Länge der Schenkel wurde vergrößert von 4" bis 24", mithin waren Stäbe in Anwendung, deren Länge zwischen 13" und 53" variierte.

IV.

l	\sqrt{l}	m	$\lg m$	$\frac{\lg m}{\sqrt{l}}$
13"	3,605	$19\frac{1}{2}^{\circ}$	0,3541	0,0982
17	4,123	$22\frac{1}{4}$	0,4091	0,0991
23	4,796	25	0,4663	0,0972
29	5,385	28	0,5317	0,0987
53	7,348	$35\frac{1}{2}$	0,7134	0,098

Die erste mit l überschriebene Colonne giebt die Länge der Magnete, die zweite (\sqrt{l}) die Wurzeln dieser Länge, die dritte (m) enthält die Ablenkung der Nadel bei einer Entfernung von 21" vom nächsten Pol; die vierte ($\lg m$) enthält die Tangenten dieser Ablenkungswinkel und die letzte die Quotienten der Werthe der vierten Reihe durch die der zweiten.

Die Resultate der fünften Reihe setzen es außer Zweifel, daß der freie Magnetismus von Stabmagneten, deren Pole gleich weit von einander entfernt bleiben, sich wie die Wurzeln der Stablängen verhält, wenn die Kerne ihrer ganzen Länge nach mit einer galvanischen Spirale bedeckt sind, die dieselbe Windungszahl hat und von demselben Strome durchflossen wird.

Außer diesen Versuchen mit den 1" dicken Stäben wurden noch $\frac{1}{2}$ " und 2" dicke geprüft. Sie zeigten dieselben Erscheinungen.

V.

Länge u. Dicke der Magnete	\sqrt{l}	m	$\lg m$	$\frac{\lg m}{\sqrt{l}}$
17" $\frac{1}{2}$ "	4,123	$14\frac{3}{4}^0$	0,25397	0,0616
23 $\frac{1}{2}$	4,796	$16\frac{1}{2}$	0,29622	0,0617
29 $\frac{1}{2}$	5,385	$18\frac{1}{2}$	0,3346	0,0621
17 2	4,123	$28\frac{1}{4}$	0,53732	0,13
29 2	5,385	$37\frac{3}{4}$	0,77427	0,145

Trotz der Abweichungen, welche besonders bei den 2" dicken Stäben hervortreten, müssen wir doch auch diese Versuche als Beweis des obigen Satzes anerkennen.

II. Anziehung und Tragkraft der Stabelektromagnete.

Nach den früheren Beobachtungen über die Anziehung der Stabelektromagnete war nicht zu erwarten, daß Stäbe von verschiedener Länge, die ihrer ganzen Ausdehnung nach mit der galvanischen Spirale bedeckt sind, eine Anziehung auf einen und denselben Anker üben würden, welche den so eben erhaltenen Resultaten der Wirkung der Eisenstäbe auf eine frei schwebende Magnetnadel entspräche.

Um das Resultat, besonders beim Messen der Tragkraft, nicht durch mangelhafte Berührung getrübt zu sehen, wählte ich eine Eisenkugel von 1" Durchmesser als Anker. Sie ergab folgende Anziehungskräfte mit Magneten von 6" bis 24" Länge und 1" Durchmesser.

VI.

Magnet	6" lang	Tragkraft. 1,9 Pfd.	Anziehung. 0,93 Pfd.
"	9 "	1,95 "	0,95 "
"	12 "	1,95 "	0,9 "
"	18 "	1,8 "	0,8 "
"	21 "	1,85 "	0,86 "
"	24 "	1,8 "	0,8 "

Diese Reihe zeigt, daß bei Stabelektromagneten von verschiedener Länge die Wirkung auf denselben Anker nicht aus der Kraft erschlossen werden kann, mit der der freie Magnetismus eines Poles eine in Entfernung aufgestellte Magnetsnadel ablenkt, sondern daß diese Anziehungskraft von anderen Bedingungen abhängig ist. Eine Versuchsreihe mit einem 6" langen Anker von 1" Durchmesser und dem oben angewandten Magneten zeigte eine noch genauere Uebereinstimmung sämtlicher Trag- und Anziehungskräfte als die vorige.

VII.

Länge d. Magnete.	Tragkraft.	Anziehung.
6"	4,2 Pfd.	1,4 Pfd.
9	4,6 "	1,3 "
12	4,5 "	1,4 "
15	4,2 "	1,3 "
18	4,5 "	1,35 "
24	4,4 "	1,4 "

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß die hier stattfindenden Abweichungen von der Gleichheit sämtlicher Zahlen nicht gesetzmäßig, sondern durch Specialitäten hervorgerufen sind, unter denen in den vorliegenden Fällen bessere oder schlechtere Berührung wahrscheinlich der einzige Grund ist. Diefes läßt sich besonders daraus schließen, daß in manchen Fällen bei größerer Tragkraft geringere Anziehung, als in dem vorhergehenden Versuch, so wie auch das Umgekehrte auftritt.

Die mit Anziehung überschriebene Colonne wurde hier wie in allen folgenden Fällen dadurch erhalten, daß zwischen Anker und Magnet ein Blatt Papier gelegt war.

Die beiden Versuchsreihen No. VI und VII stimmen, wenn wir die Versuchsergebnisse der ersteren Reihe auch als gleich ansehen, mit den von Lenz und Jacobi angestellten Versuchen insofern überein, als sich gleiche Kräfte bei verschiedenen Magneten zeigen. Da jedoch diese Phy-

siker die bei ihren Untersuchungen erhaltenen Kräfte den freien Magnetismus nennen, so wird man veranlaßt zu fragen, was unter freiem Magnetismus verstanden werden soll, wenn die Wirkung, die ein abgerissener Anker auf die ihn umgebende Inductionsspirale ausübt, so genannt wird, und sich dabei Gleichheit der Kraftäusserung findet, während die obigen Messungen mit der Magnetnadel eine Zunahme mit der Länge der Magnete erwiesen haben. Nach der Erklärung, welche Lenz und Jacobi selbst in Bd. 61 S. 273 dieser Annalen über den freien Magnetismus geben, verdient die Wirkung auf eine Magnetnadel diesen Namen. Sie sagen nämlich an jener Stelle: »Bei dem freien Magnetismus in einem Magnetstabe ist die Rede von der Wirkung des Magnetismus auf einen außerhalb befindlichen Punkt u. s. w.« — Freilich ist die Wirkung auf einen Anker auch eine auf außerhalb liegende Punkte, allein da die Resultate, welche diese Wirkung ergiebt, so ganz von denen, die die Magnetnadel zeigt, abweichen, so sieht man sich veranlaßt, diese Wirkung nicht als eine der obigen analoge anzusehen und mithin nicht freien Magnetismus zu nennen.

Es ist nun die Frage, ob unter allen Verhältnissen die Länge der Elektromagnete ohne Einfluß auf die Anziehung ist, während doch die Wirkung der Stablängen auf eine Magnetnadel sich als unzweifelhaft herausstellt. Bei der Untersuchung der Stäbe Hinsichts des Durchmessers hatte sich Proportionalität mit demselben ergeben, wenn der Anker wie die Stäbe an Durchmesser zunahm. Sollte der Versuch jenen analog angestellt werden, so mußten hier die Anker den Stäben proportional wachsen. Die nachstehende Tabelle zeigt, daß für diesen Fall sich dann allerdings ziemlich genau die Anziehung und Tragkraft der Länge proportional ergiebt, wobei auch, wie in allen anderen Fällen, zu beachten ist, daß die Anziehung genauere Resultate zeigt als die Tragkraft.

VIII.

Anziehung und Tragkraft bei gleicher Länge und Dicke von Magnet und Anker.

Magnet u. Anker.	Tragkraft.	Anziehung.
6" lang	4,2 Pfd.	1,25 Pfd.
9 "	6 "	1,8 "
12 "	8,2 "	2,55 "
18 "	11,6 "	3,7 "
24 "	15,5 "	5,6 "

Eine andere Versuchsreihe, in der der Anker jedesmal halb so lang als der Magnet genommen wurde, zeigte als Anziehung die eben erhaltenen Gewichte, also auch Proportionalität mit den Längen der Stäbe.

IX.

Anziehung und Tragkraft verschiedener Systeme von Magneten und Anker, welche gleichen Durchmesser und deren Anker die halbe Länge des Magneten haben.

Länge d. Magnete.	Tragkraft.	Anziehung.
6"	2 Pfd.	0,7 Pfd.
12	4 "	1,55 "
18	6,8 "	2,2 "
24	8,2 "	3,1 "

Aus diesen Versuchen scheint nun der Satz zu folgen, daß die Anziehung den Ankern proportional wachse. Da sich jedoch aus dem Folgenden ergibt, daß diese Proportionalität mit den Ankern *allein* nicht durchweg statt hat, so kann aus den obigen Reihen kein anderer Schluss gezogen werden, als daß die Anziehung den Längen der Magnete proportional ist, wenn die Anker in demselben Verhältniß wachsen. Hält man diesen Satz mit dem zusammen, was vorn über den an den Ankern mittelst der Inductionsspirale beobachteten freien Magnetismus bemerkt worden, so kommt man zu der Aussicht, daß man zu einem Gesetz über die Anziehung gelangen werde, wenn man Anker und Magnet als ein Continuum betrachtet.

Wir wollen somit Anker und Magnet als *einen Stab* ansehen und dies ein magnetisches System nennen. Dadurch, daß dieser Stab an verschiedenen Stellen durch-

schnitten wird, entstehen aus einem Stabe verschiedene Systeme. Die Vertheilung des Magnetismus wird in diesen verschiedenen Systemen dadurch jedesmal eine andere, dafs wir den einen Theil desselben stets seiner ganzen Länge nach mit der galvanischen Spirale bedecken, und so in dem früher angegebenen Sinne sämmtliche angewandten Magnete ihrer ganzen Länge nach durch dieselbe magnetisirende Kraft erregen.

In dem vorliegenden Falle wurden drei Gruppen von Systemen angewandt, deren erste durch einen Stab von 24", die zweite durch einen von 36" und die dritte durch einen von 48" Länge gebildet wurde. Alle drei Stäbe waren in der Weise von der Mitte an durchgeschnitten, dafs der kürzere Theil als Anker an Länge bis auf einen Zoll abnahm.

X.

Systeme von 24" Länge.

Magnet	12"	Anker 12"	Tragkraft.		Anziehung.	
			7,8	Pfd.	2,55	Pfd.
"	15	" 9	5,4	"	2	"
"	18	" 6	4,1	"	1,2	"
"	21	" 3	2	"	0,64	"
"	22	" 2	1,4	"	0,42	"
"	23	" 1	0,75	"	0,2	"

XI.

Systeme von 36" Länge.

Magnet	18"	Anker 18"	Tragkraft.		Anziehung.	
			11,6	Pfd.	3,7	Pfd.
"	24	" 12	8,2	"	2,6	"
"	30	" 6	4,3	"	1,3	"
"	33	" 3	2	"	0,65	"
"	34	" 2	1,35	"	0,36	"
"	35	" 1	0,6	"	0,2	"

XII.

Systeme von 48" Länge.

Magnet	24"	Anker 24"	16		5,6	
			10,9	Pfd.	4,2	Pfd.
"	30	" 18	8	"	2,5	"
"	36	" 12	4	"	1,2	"

Diese Reihen zeigen vor Allem den wichtigen Satz:

„Die Anziehung nimmt proportional dem Abschnitte eines magnetischen Stabes von der Mitte aus ab.“

Ich muß bemerken, daß ich diese in so vollkommener Weise das Gesetz darstellenden Reihen No. X, XI, XII nicht gleich Anfangs erhalten habe. Wie in allen Fällen, wo man die Anziehung oder gar die Tragkraft der Magnete mißt, werden die Resultate durch Versuchsfehler beim Abreißen des Ankers getrübt. Diese schon hinreichend besprochene Thatsache wird besonders dadurch hervorgerufen, daß der Anker, ehe er ganz losläßt, zuvor noch an einer Kante festhält. Dieses Kippen des abreisenden Ankers wird um so auffallender, je kürzer dieser im Verhältniß zu seinem Durchmesser wird, so daß der angewandte 1" lange Anker, dessen Länge nicht größer als sein Durchmesser war, vor dem Abreißen einen Winkel von fast 45° mit der Polfläche bildete. Dadurch kam es, daß die Anziehung bei den kürzeren Ankern Anfangs größer wurde als die in den obigen Reihen verzeichneten Gewichte. Um nun zu bewirken, daß die kürzeren Anker keine andere Stellung zur Polfläche einnehmen könnten als die längeren, wurde in die kürzeren ein Messingstab eingeschraubt, mit dem sie dann einen festen Stab bildeten von derselben Länge wie die größeren Anker. Erst nach Anwendung dieses Mittels ergaben sich die vorn angeführten Trag- und Anziehungskräfte.

Wir haben bisher in allen Reihen von No. VII bis XII gesehen, daß die Anziehung und Tragkraft den Längen der Anker proportional ist, allein schon vorn ist gesagt, daß dieser Satz keine allgemeine Gültigkeit habe. Aus einem früher, freilich nur an einem beschränkten Kreise von Versuchsreihen, gefundenen Satze nämlich ist die Anziehung dieselbe, wenn man das ganze System umkehrt, d. h. Anker zum Magnet und Magnet zum Anker macht. Wendet man diesen Satz auf den vorliegenden Fall an, so folgt daraus, daß sich dieselbe Anziehung ergeben würde, wie in den drei letzten Versuchsreihen, wenn man wie dort

die Anker, so hier die Magnete abnehmen liefse. Alsdann müßten die Magnete mit ihrer Länge so an Anziehungskraft abnehmen, wie bisher die Anker. Daraus würde dann folgen, daß bei magnetischen Systemen, welche dieselbe Länge haben, das Maximum der Anziehung stattfinden würde, wenn Anker und Magnet gleich lang sind, d. h. wenn das oben als *ein* Stab gedachte System in der Mitte durchschnitten wird.

Dieser letzte Satz müßte sich am genauesten dann herausstellen, wenn der einfachste Fall in der magnetischen Vertheilung statt hat, d. h. wenn sämtliche Moleküle durch den ganzen Stab gleichmäßig erregt sind. Dieser Fall tritt aber ein, wenn der *ganze Stab* mit der galvanischen Spirale bedeckt ist. Schon Lenz und Jacobi ¹⁾ und später Van Rees ²⁾ haben dargethan, daß das Maximum der magnetischen Intensität eines Magnetstabes in der Mitte desselben liege, woraus dann allerdings folgt, daß auch beim Durchschneiden eines solchen Stabes diese beiden Theile sich mit der größten Kraft halten müssen, sobald der Durchschnitt in der Mitte liegt. Denken wir uns einen solchen Stab mit der Spirale in der Mitte durchschnitten, so erhalten wir zwei gleiche Magnete.

Um nun zunächst das Verhältniß der Anziehung verschieden langer Stabelektromagnete, die in der Mitte durchschnitten sind, zu prüfen, wählte ich drei Paare von Magneten, deren eines aus zwei 6zölligen, ein anderes aus zwei 9zölligen und ein drittes aus zwei 12zölligen Magneten bestand. Die Anziehung wurde wie bei den Ankern so gemessen, daß jedes Mal einer der Magnete feststand, während der andere, von derselben magnetischen Kraft erregt, an dem Abreißhebel in der Längsaxe des feststehenden aufgehängt war. Die Kräfte, mit denen die Magnete sowohl in Berührung als in Entfernung gehalten wurden, waren folgende:

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 464.

2) Diese Annalen Bd. 70, S. 1.

XIII.

Länge d. Magnete.	Tragkraft.	Anziehung.
6"	4,2 Pfd.	1,2 Pfd.
9	6 "	1,8 "
12	8 "	2,5 "

Wir erschen aus diesen Versuchen, *dafs die Tragkraft wie die Anziehung zweier gleicher Magnete genau der Länge derselben proportional ist.*

Vergleichen wir die hier erhaltenen Resultate mit denen in No. VIII, so sehen wir, dafs Tragkraft und Anziehung dieselben sind wie bei dem 6", 9" und 12" langen Magneten, der von derselben magnetisirenden Kraft, wie hier beide Magnete erregt wird und einen ihm gleichen Anker anzieht. Hieraus ergiebt sich denn der Satz:

»Die Tragkraft und Anziehung zweier Stäbe ist dieselbe, mag die magnetisirende Kraft über die ganze Länge eines oder beider Stäbe ausgebreitet seyn.«

Dieser Satz findet in schon bekannten Sätzen seine Begründung. Es steht nämlich fest, dafs sich die Anziehung wie die Quadrate der Windungszahlen der elektromagnetischen Spirale verhält. Wird nun ein Elektromagnet bei demselben Strome mit der doppelten Windungszahl umgeben, so mufs der Anker mit der vierfachen Kraft gehalten werden. Umgiebt man aber, anstatt die doppelte Windungszahl auf den Magneten zu bringen, den Anker mit derselben Zahl von Windungen, wie den Magneten, so mufs jetzt der Anker auf den Magneten wie dieser auf jenen wirken, und es wird somit der Magnetismus im Anker wie im Magneten verdoppelt, d. h. die Anziehung wird die vierfache der vorigen.

Auch Lenz und Jacobi machen in diesen Annalen Bd. 47, S. 410 dieselbe Beobachtung, sie finden, dafs *»für gleiche magnetisirende Ströme die Anziehung zweier Elektromagnete etwa vier Mal stärker ist als die zwischen Elektromagnet und Eisen«*, wo natürlich zu bemerken ist, dafs die beiden gleichen Magnete auch gleiche Windungszahl haben. Da nach den früheren Versuchen ein System zweier glei-

cher Magnete, die wir beiläufig durch Durchschneiden eines, seiner ganzen Länge nach bewickelten, Stabes entstanden dachten, dasselbe Resultat giebt, wie ein gleiches System von Magnet und Anker, bei dem dieselbe magnetisirende Kraft über einen der Stäbe ausgebreitet ist; so läßt sich daraus schliessen, daß sich auch für den Fall gleiche Resultate herausstellen werden, wenn der obige Stab an andern Stellen als in der Mitte durchschnitten gedacht wird, d. h. daß die in den Versuchsreihen No. X, XI, XII erhaltenen Resultate dieselben seyn würden, wenn die magnetisirende Kraft das ganze System von Anker und Magnet bedeckte. Ist dies aber der Fall, so muß es gleichgültig seyn, welcher der beiden ungleichen Stäbe mit der magnetisirenden Kraft bedeckt ist. Es müßte daher in Folge dieser Schlüsse der schon vorher besprochene Satz wahr seyn, daß man Magnet und Anker mit einander vertauschen kann. Hieraus würde dann folgen, daß das Maximum der Anziehung stattfinden muß, wenn das System von Anker und Magnet oder zweier Magnete in der Mitte durchschnitten ist, d. h. wenn beide Theile gleich lang sind.

Alle diese Sätze, welche sich folgerecht aus den bisherigen Untersuchungen ergeben, habe ich nicht experimentell untersucht, sondern ich bin sogleich zur Prüfung des Satzes geschritten, der sich als das Endresultat aller obigen Schlüsse herausstellt und dessen experimentelle Bestätigung auch alle vorher erschlossenen Sätze als richtig darthun muß.

Gilt nämlich der Satz, daß die Anziehung proportional dem Abschnitt des Stabes nach dem Ende hin abnimmt, ebenso für den Magneten, wie wir es in den Reihen X, XI, XII für die Anker gefunden haben, so ergiebt sich daraus, daß die Anziehung proportional dem kürzeren Theile des ganzen Systemes ist und sich nicht nach der Länge des Systemes überhaupt richtet. Zur Prüfung dieses Satzes wurde nun die Anziehung und Tragkraft untersucht, welche ein 18" langer Anker mit Magneten von 4" bis 18" Länge und 1" Durchmesser zeigte.

XIV.

Anker 18" lang 1" dick.

Magnet 1" dick.	Tragkraft.	Anziehung.
18" lang	11,5 Pfd.	4,8 Pfd.
12 "	8 "	3,7 "
9 "	6 "	2,8 "
6 "	4,7 "	2,5 "
4 "	3,4 "	2,2 "

Wir finden den besprochenen Satz hier nur bis zu einer bestimmten Gränze bestätigt. Es zeigt sich bei den grösseren Dimensionen des Magneten noch ziemlich genau eine Abnahme der Anziehung, die der Länge proportional ist, wogegen die kürzeren Magnete, bei denen die magnetisierende Kraft sich mehr auf einen Punkt zusammenhäuft, eine stärkere Anziehung zeigen, als nach der oben beobachteten Proportionalität der Fall seyn müßte.

Diese Abweichung ist die einzige von dem hier in allen übrigen Fällen beobachteten Gesetze und läßt sich wohl aus der zu grossen Zusammenhäufung der magnetisierenden Kraft erklären. Die Anziehung würde jedoch auch für diesen Fall dem Gesetze vollkommen entsprechen, wenn die Spirale über das ganze System ausgebreitet wäre. Wie viel aber auch in der vorliegenden Reihe zu den Unregelmäßigkeiten der Resultate noch die Versuchsfehler beitragen, welche nämlich immer unverhältnismässig grösser werden mit der Stärke der Magnetisirung überhaupt, das beweist eine Versuchsreihe mit einem fast halb so starken Strom.

XV.

Magnetisirende Kraft 336. 0,2. Anker 18".

Magnet 18"	Tragkraft.	Anziehung.
	3,5 Pfd.	1,7 Pfd.
" 15	3 "	1,5 "
" 12	2,8 "	1,3 "
" 9	1,9 "	0,9 "
" 6	1,2 "	0,6 "
" 4	1,1 "	0,5 "

Der obige Satz findet hier in viel vollkommenerem Maasse seine Bestätigung als in der vorigen Versuchsreihe, obgleich dessen ungeachtet die Abweichung von dem Gesetz bei immer kleiner werdendem Magnet nicht zu läugnen ist. Sie tritt aber um so stärker hervor, je stärker die magnetisirende Kraft ist.

Aus den beiden Sätzen, dafs 1) die Anziehung dem kürzeren Theile des ganzen Systemes proportional ist und dafs 2) bei dem Maximum der Anziehung, d. h. wenn das System in der Mitte durchschnitten, dieselbe der Länge des Systemes proportional ist, folgt unmittelbar der Satz:

»Die Anziehung ist der Länge verschiedener Systeme proportional, wenn diese proportional getheilt sind.«

So müssen also z. B. zwei Systeme von 24" und 36" Länge eine Anziehung im Verhältnifs von 2:3 geben, wenn die Längen der Anker und Magnete sich wie 2:3 verhalten, also entweder 6" und 9" oder 12" und 18" etc. Länge haben. Wir finden aber aus No. X und XI, wenn wir die Anziehung für den 9zölligen Anker dem gefundenen Gesetz gemäß berechnen als Anziehung für die entsprechenden Anker.

6zölliger Anker des 24zölligen Systems :	4,1	Pfd.
9 " " " 36 " " :	6,24	"
12 " " " 24 " " :	7,8	"
18 " " " 36 " " :	11,6	"

Abgesehen von den Abweichungen, die keinesweges über die Gränzen der Versuchsfehler hinausliegen, bestätigen diese Zahlen, wie mehrere andere, die Wahrheit des obigen Satzes, aus welchem dann in Verbindung mit dem Satze: *die Anziehung ist dem kürzeren Theile des ganzen Systems proportional*, der wichtige Satz folgt:

Die Anziehung muß bei gleicher magnetisirender Kraft dieselbe seyn, wenn bei beliebiger Länge des ganzen Systems der kürzere Theil dieselbe Länge hat.

Es nimmt nämlich bei verschiedener Länge des ganzen Systems, aber gleichem Anker die Anziehung bei dem längeren System gerade in dem Verhältnifs zu, als sie wegen

der verhältnißmäßigen Annäherung der Durchschnittsfläche an das Ende hin abnimmt. Hiernach muß also ein 6", 12", 18", 24" langer Magnet einen 6" langen Anker mit gleicher Kraft halten. Ein 4" langer wird von allen Magneten die länger sind als er mit $\frac{2}{3}$ der Kraft gehalten, mit welcher der 6" lange Anker gehalten wird, u. s. w. Die Versuchsreihe No. VII liefert den Beweis hierzu. Ebenso bestätigen die Tragkräfte und Anziehungen der Anker von gleicher Länge in den Reihen No. X, XI und XII den obigen Satz. Der 12" lange Anker wird angezogen

	Tragkraft.	Anziehung.
von dem 12" langen Magneten mit	7,8 Pfd.	2,55 Pfd.
" " 24" " " "	8,2 "	2,6 "
" " 36" " " "	8 "	2,5 "

Hiernit ist nun die Erklärung der wider Erwarten erhaltenen Resultate in No. VI und VII gegeben. Es wird daraus klar, daß man bei der Anziehung das ganze System von Anker und Magnet wie *einen* Stab ansehen muß, in dem der Magnetismus durch die galvanische Spirale in der ganzen Länge desselben vertheilt ist.

Um nun zu sehen, ob auch bei Anwendung von Ankern, welche länger sind als der Magnet, derselbe Satz gelte, habe ich eine Versuchsreihe ausgeführt, wo durch einen 6" lange 1" dicken Magneten Stäbe von 6" bis 24" Länge und 1" Durchmesser angezogen werden.

XVI.

Anziehung eines 6" langen 1" dicken Magneten.

	Tragkraft.	Anziehung.
Anker 6" lang	4,5 Pfund	1,9 Pfund
" 9" "	5,1 "	2,2 "
" 12" "	5 "	2 "
" 15" "	4,9 "	2,2 "
" 18" "	4,7 "	2,3 "
" 24" "	5 "	2,2 "

Auch in dieser Reihe müssen wir die Abweichungen der verschiedenen Gewichte von einander als Versuchs-

fehler ansehen, da kein Ueberwiegen zu Gunsten der längeren Anker stattfindet. Man ersieht aus dieser Reihe, daß Anziehung und Tragkraft dieselbe bleibt bei Ankern, die bis zu dem Vierfachen der Magnetlänge wachsen.

Wäre nun der vorn aufgestellte Satz, daß die Anziehung und Tragkraft von der Mitte des Systems nach beiden Seiten hin gleichmäßig abnehmen, streng richtig, so müßten die hier erhaltenen Gewichte den in No. VII gefundenen, wo die Magnete wie die hier gebrauchten Anker variiren, gleich seyn. Wir finden aber etwas größere Werthe als dort, so daß wir, wie schon bemerkt, bei diesem Satz hinzufügen müssen, daß die Anziehung bei dem Abnehmen des Magneten nach dem Ende des ganzen Systems hin etwas größer wird als sie nach dem Verhältniß jener Abnahme seyn müßte. Nichts desto weniger können wir für die Praxis dies Gesetz festhalten, da die Abweichungen in Fällen statthaben, die selten oder wohl nie zur Anwendung kommen.

Eine Zusammenstellung des bisher Gefundenen zeigt, daß alle Sätze, die wir an magnetischen Systemen beobachtet haben, welche auf der ganzen Länge eines oder beider Theile mit der von gleichem Strom durchflossenen galvanischen Spirale bedeckt sind, aus den beiden Gesetzen hervorgehen:

1. *»Die Anziehung und Tragkraft sind der Länge verschiedener Systeme proportional, wenn diese proportional getheilt sind.«*

2. *»Die Anziehung und Tragkraft verschiedener elektromagnetischer Systeme von gleicher Länge sind der Länge des kürzeren beider Theile proportional, wenn entweder ein Theil oder beide mit der galvanischen Spirale ihrer ganzen Länge nach bedeckt sind.*

Da nun der kürzere Theil sein Maximum erreicht, wenn er dem anderen gleich wird, so ergiebt sich zunächst aus No. 2:

»Unter Systemen von gleicher Länge hat das das Maxi-

mum der Anziehung und Tragkraft, bei dem Anker und Magnet gleich lang sind.«

Aus diesem Satze folgt dann ferner in Verbindung mit No. 1:

»Die Maxima der Anziehung und Tragkraft verschiedener Systeme sind den Längen dieser Systeme proportional.«

Endlich ergiebt die Verbindung von No. 1 und 2:

»Anziehung und Tragkraft beliebig langer Systeme sind gleich, wenn die kürzeren Theile, sey es Anker oder Magnet, einander gleich sind.«

In diesen Sätzen finden nun auch die Erscheinungen ihre Begründung, welche sich in dem Falle zeigen, wo mit der Verlängerung des Eisenkernes des Elektromagneten auch die Zahl der Windungen der galvanischen Spirale vergrößert wird.

Lenz und Jacobi erklären zwar für diesen Fall den Magnetismus nur von der Zahl der Windungen abhängig, allein nach den vorliegenden Untersuchungen kann diese ihre Behauptung nur in dem Falle Gültigkeit haben, wo der Anker kürzer ist als der Magnet. Denn da bei Ankern, die *länger* sind als der Magnet, die Anziehung der Länge der *Magnete*, als dem kürzeren Theile, proportional ist, wenn sie dieselbe Windungszahl haben, so muß nach z. B. ein doppelt so langer Magnet, der zugleich doppelte Windungszahl hat, für diesen Fall bei demselben Strome achtfache Anziehung und Tragkraft zeigen, während er nach Lenz und Jacobi nur vierfache haben müßte. Die Anziehung ist nämlich einerseits der Länge des kürzeren Theiles des Systemes und andererseits dem Quadrate der Windungszahl proportional. Nimmt man nun einen doppelt so langen Magneten, der aber die Länge des Ankers nicht überschreitet und umgiebt ihn außerdem mit doppelter Windungszahl, so muß die Anziehung wegen der doppelten Länge bei einfacher Windungszahl doppelt so groß, und diese doppelte Anziehung wegen der doppelten Windungszahl wieder vier Mal so groß seyn, d. h. die Anzie-

hung und Tragkraft sind für diesen Fall das achtfache des vorhergehenden.

Ein Versuch mit zwei verschiedenen Anker- und Magnetenpaaren genügte, um die Richtigkeit dieser Schlufsfolge zu bestätigen.

				Magnetisirende	Tragkraft.	Anziehung.
1. Anker	6"	Magnet	6"	156.0,364	1 Pfd.	0,3 Pfd.
2. "	6	"	12	312.0,364	4,1 "	1,2 "
3. "	12	"	6	156.0,364	1,1 "	0,35 "
4. "	12	"	12	312.0,364	7,8 "	2,5 "

Unter magnetisirender Kraft ist das Product aus Stromstärke und Windungszahl verstanden. Es durchfließt ein Strom, der die Nadel der Tangentenbussole auf 20° ablenkt, bei dem 6" langen Magneten 156 Windungen, bei dem 12" langen dagegen die doppelte Windungszahl der Spirale, die dadurch auch doppelt so lang ist. Wir sehen, daß No. 1 und 2 die Versuche von Lenz und Jacobi in den beiden ersten Nummern ihrer zweiten, vorn angeführten Tabelle darstellen. Während bei ihnen, weil sie den Inductionsstrom im Anker messen, mit der Windungszahl dividirt werden muß, muß hier, da die Tragkraft und Anziehung gemessen wird, mit dem Quadrate der Windungszahl dividirt werden um einen constanten Quotienten zu erhalten. No. 3 und 4 stellen dagegen den Versuch von Lenz und Jacobi *aber mit doppelt so langem Anker* dar. Wir finden in diesem Falle das wohl zu beachtende, mit dem vorn gefundenen Gesetz übereinstimmende Resultat, daß die Anziehung in No. 4, gemäß der vorher gemachten Schlüsse ziemlich genau die achtfache der in No. 3 ist. Die Abweichung, daß in No. 3 statt 1 Pfd. Tragkraft 1,1 Pfd. und in No. 4 7,8 Pfd. statt 8 Pfd. sich ergeben, muß sicher auf Versuchsfehler gerechnet werden, da bei der *Anziehung*, wo die Versuchsfehler geringer sind, sich genau das Achtfache herausstellt.

Wir sehen also, daß die *Anziehung und Tragkraft Functionen sowohl der Länge des Kernes als der Windungszahl sind und daß die der letzteren ganz unabhängig von der*

Längenwirkung aus dem früher entwickelten Gesetze über die Wirkung derselben hervorgeht.

Schon vorn ist der von Lenz und Jacobi angestellten Versuche Erwähnung geschehen ¹⁾, aus denen sie ebenfalls Schlüsse auf die Wirkung der Stabmagnete ziehen, obgleich jene Versuche mit Hufeisen angestellt sind, worauf schon Niklès ²⁾ aufmerksam macht. Die Vertheilung des Magnetismus in einem Hufeisen nach Auflegen des Ankers ist aber eine einfachere als in einem Stabe und es läßt sich daraus schliessen, dafs sich bei Hufeisen in Bezug auf die Wirkung ihrer Länge auch einfachere Gesetze als bei den Stäben zeigen werden. Die Hufeisen ergeben gleiche Anziehung und Tragkraft sowohl bei verschiedener Länge ihrer Schenkel als auch bei verschiedener Entfernung derselben von einander. Da in den von mir untersuchten Fällen der Anker stets geringere Länge hatte als das Hufeisen, so entspricht der erste der genannten Fälle, dafs nämlich die Anziehung bei verschiedener Schenkellänge dieselbe ist, dem an Stäben geltenden Gesetze, wonach die Anziehung dieselbe bleibt bei Gleichheit des kürzeren Theiles des magnetischen Systems. Dafs nun aber die Entfernung der Schenkel ebenfalls ohne Einflufs auf die Anziehung ist, wo doch der kürzere Theil hinsichts der Länge variiert, beweist, dafs die Anker bei Hufeisen nicht den Einflufs üben wie bei Stäben, da denen analog mit der Länge des kürzeren Theiles die Anziehung wachsen müßte.

Die von mir in Bezug auf die Entfernung der Schenkel der Hufeisen angestellten Versuche, welche Gleichheit der Anziehung ergeben hatten, waren innerhalb der Grenzen unternommen, in denen die Hufeisen gewöhnlich zur Anwendung kommen. Später hat Niklès die Untersuchung weiter ausgedehnt ³⁾, indem er einmal die Kerne

1) Diese Annalen Bd. 61, S. 265.

2) Institut 8. December 1852, S. 397.

3) *Compt. rend.* XXXIX p. 635 und Fortschritte d. Phys. d. berl. phys. Gesellschaft, wo es in der 12. Reihe von oben »Anziehung« statt *Stromstärke* heissen muß.

möglichst nahe zusammen brachte und das andere Mal sie ungewöhnlich weit von einander entfernte. In diesen beiden extremen Fällen findet er eine Abnahme der Anziehung, während er innerhalb der von mir gehaltenen Grenzen und auch in noch weiterer Ausdehnung ebenfalls Gleichheit beobachtet. Hier nimmt also sogar die Anziehung mit der gröfseren Länge des Ankers ab; allein es kann wohl Niemandem einfallen, diese Erscheinung als einen Gegensatz gegen die bei Stäben anzusehen. Die hier auftretende Aenderung ist nur ein Fall mehr zu der grofsen Zahl derer auf dem ganzen Gebiete der Physik, in denen die Erscheinungen nur innerhalb gewisser Grenzen einem Gesetze folgen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dafs diese von Niklès beobachtete Verringerung der Wirkung in extremen Fällen sich auch bei einer im Vergleich zu ihrem Anker ins Extrem gesteigerten Länge der *Stabmagnete* zeigt. Die hier in einer geraden Linie sich darstellende Abnahme der Anziehung, bei Theilung eines Systemes nach den Enden hin, würde dann eigentlich eine Curve bilden, die in den zur Anwendung kommenden Fällen der geraden Linie so nahe liegt, dafs die Abweichungen von derselben noch durch die Versuchsfehler verdeckt werden. Diese Erscheinung, welche sich vielleicht schon in der Reihe No. VI zeigt, wäre dann eine Analogie zu der Beobachtung von Niklès, so wie auch zu der bei der Wirkung der Stromstärke und der Windungszahl auftretenden Sättigung der Magnetisirung des Eisenkerns, welche ebenfalls um so merklicher wird, je stärker die Magnetisirung überhaupt ist, wogegen sie bei geringen Graden derselben noch nicht hervortritt.

Während nun in der vorliegenden Untersuchung das Gesetz festgestellt ist, nach welchem Magnetismus, Anziehung und Tragkraft mit der Länge der Stabmagnete wachsen, wenn diese ihrer ganzen Länge nach mit der Spirale bedeckt sind, haben die Versuche in Bezug auf den Fall, wo die Spirale den Kern *nicht* seiner ganzen Länge nach bedeckt, nur gezeigt, dafs der Magnetismus mit der Länge

der Kerne zunimmt. Es bleibt dagegen einer folgenden Untersuchung überlassen die Function zu bestimmen, nach der der freie Magnetismus, die Anziehung und Tragkraft bei wachsender Länge des Kernes zunehmen.

Berlin den 1. August 1857.

III. *Ueber Biegung prismatischer Stäbe;* *von R. Hoppe.*

Auf den bekannten Erfahrungssatz, nach welchem die zur Dehnung oder Zusammendrückung eines elastischen festen Körpers nach *einer* Dimension hin erforderliche Kraft den Volumincrementen proportional ist, läßt sich die Berechnung der Biegung eines prismatischen Stabes nur unter der Annahme gründen, daß sein Querschnitt weder in seinen Dimensionen, noch in seiner normalen Stellung zu allen Längenasern eine Aenderung erleide. Die Bestimmung jeder ungleichmäßigen Dehnung oder Compression nach *mehr* als einer Dimension, welche durch jene Annahme umgangen wird, erfordert die Zuziehung neuer empirischer Grundlagen oder Hypothesen; denn das unveränderte Volum selbst der kleinsten Theile begründet noch nicht das Gleichgewicht der darin befindlichen Spannungen.

Sollte vielleicht bei so beschränkenden Voraussetzungen die Wiederaufnahme eines so vielfach bearbeiteten Problems, in welchem man mit der Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse bereits viel weiter gegangen ist, als es hier geschehen kann, überflüssig und interesselos erscheinen, so möchte ich an Folgendes erinnern. Allerdings hat Poncelet jeden erdenklichen Umstand mit in die Berechnung gezogen, der die Gesetze der Biegung irgend zu modificiren fähig ist. Allein er sowohl wie die meisten

übrigen Bearbeiter gehen gradenwegs auf summarische Resultate für die practische Mechanik aus, ohne die theoretisch wichtigen Fragen zu berühren. Andere wie Heym verfahren in theoretischer Beziehung zwar gründlicher; doch spaltet sich bei ihnen das Problem in die Berechnung vieler Fälle, indem sogleich von einzelnen bestimmten Umständen ausgegangen wird, unter denen die Biegung stattfindet. Es scheint mir neben jenen Behandlungsweisen nicht nutzlos, das Problem in seiner Totalität, alle Fragen und das Verhältniß der verschiedenen Fälle in sich schließend, zu betrachten, wie dessen Lösung im Princip der virtuellen Geschwindigkeiten, auf Elementargesetze zurückgeführt, bereits vorliegt. Zur Durchführung wird hier nur zweierlei erfordert: erstens Ausdruck der Spannungen in linearen Dehnungen; zweitens Integration der aus dem Princip hervorgehenden Gleichungen. Ersterer kann, unabhängig von der unbekannten Anordnung der Atome, nur bei einfacher Längendehnung gegeben werden; letztere ist allgemein ausführbar, sobald nur in einzelnen Punkten des Stabes Kräfte wirken.

Ungeachtet der hierdurch motivirten, oben angedeuteten Voraussetzung behält das hier gewählte Verfahren im Anschließen an die Wirklichkeit einen wichtigen Vorzug vor demjenigen, welches unmittelbar von einem Widerstande gegen Biegung ausgeht, nämlich die Mitberechnung der Verkürzung oder Verlängerung des Stabes, durch deren Einfluß die Gesetze der Biegung in manchen Fällen gänzlich ungeändert werden.

Auch eine doppelte Krümmung ist dabei noch zulässig; doch werde ich mich zu größerer Deutlichkeit fürs erste auf ebene Biegung beschränken. Es sey demnach angenommen, daß sich alle Querschnitte um parallele Axen drehen. Die Dimension des Stabes in der Richtung dieser Axen heiße seine Breite, die auf ihr und auf der Längsrichtung senkrechte seine Dicke.

Sind nun σ , τ , ω die Coordinaten eines Elementes des Stabes im indifferenten Zustande nach den Richtungen der

Länge, Dicke, Breite, der Schwerpunkt der einen Endfläche Anfangspunkt, und geht das Element $\partial\sigma$ durch die Biegung in ∂s_1 , für $\tau=0$ in ∂s über; bezeichnet überdies q die Spannung von ∂s_1 , α die elastische Kraft des Stoffes ϱ den Krümmungsradius von ∂s , so ist:

$$\partial s_1 = \partial s \left(1 + \frac{\tau}{\varrho}\right) = \partial s \left(1 + \frac{q}{\alpha}\right)$$

woraus

$$q = \alpha \left(\frac{\partial s}{\partial \sigma} - 1 + \frac{\partial s}{\partial \sigma} \frac{\tau}{\varrho} \right)$$

$$\delta \partial s_1 = \delta \partial s + \tau \delta \frac{\partial s}{\varrho}.$$

In der Ebene der $\sigma\tau$ sey ein im Raume festes, sonst beliebig gelegenes System der xy angenommen, und es mögen XY die Componenten der in einzelnen Punkten xy auf die gebogene σ -Axe wirkenden Kräfte nach den Richtungen der x und y bezeichnen. Dann ist nach dem Princip der virtuellen Geschwindigkeiten die Bedingung des Gleichgewichtes der Spannungen und äusseren Kräfte:

$$Q = \iiint q \partial \tau \partial \omega \delta \partial s_1 = \Sigma (X \delta x + Y \delta y).$$

Führt man obige Werthe ein, setzt den Querschnitt

$$\iint \partial \tau \partial \omega = f$$

sein Trägheitsmoment in Bezug auf die ω -Axe

$$\iint \tau^2 \partial \tau \partial \omega = b f$$

und beachtet, dass das statische Moment

$$\iint \tau \partial \tau \partial \omega = 0$$

ist, so erhält man

$$(1) \quad \frac{Q}{f\alpha} = \int \left\{ \left(\frac{\partial s}{\partial \sigma} - 1 \right) \delta \partial s + \frac{b}{\varrho} \frac{\partial s}{\partial \sigma} \delta \left(\frac{\partial s}{\varrho} \right) \right\}.$$

Bringt man mittelst einiger theilweisen Integrationen diesen Ausdruck auf die Form:

$$\frac{Q}{f\alpha} = \int U \delta x \partial s + \int V \delta y \partial s + \Sigma (\Delta - \Delta_0),$$

wo A und A_0 aus dem integrierten Theile durch Einsetzung der oberen und unteren Gränze der s hervorgehen, so findet man die Werthe:

$$\begin{aligned} U &= \frac{\partial}{\partial s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) x' + b y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\sigma'}\right) \right\} \\ V &= \frac{\partial}{\partial s} \left\{ \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) y' - b x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\sigma'}\right) \right\} \\ A &= - \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) (x' \delta x + y' \delta y) - b (y' \delta x - x' \delta y) \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\sigma'}\right) \\ &\quad + b \frac{x'' \delta x' + y'' \delta y'}{\sigma'}, \end{aligned}$$

wo die Accente Differentialquotienten nach s bezeichnen. Da die verschiedenen Punkten zugehörigen Variationen von einander unabhängig sind, so ist:

$$U=0; V=0; \Sigma(A-A_0) = \frac{1}{f\alpha} \Sigma(X\delta x + Y\delta y) \quad (2_1).$$

Die ersten zwei Gleichungen geben integrirt:

$$\left. \begin{aligned} \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) x' + b y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\sigma'}\right) &= \lambda \\ \left(1 - \frac{1}{\sigma'}\right) y' - b x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\sigma'}\right) &= \mu \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

und der Ausdruck von A reducirt sich auf

$$A = -\lambda \delta x - \mu \delta y + b \frac{x'' \delta x' + y'' \delta y'}{\sigma'}.$$

Die dritte Gleichung kann nur erfüllt werden, indem man zu gleicher Zeit

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{f\alpha} \Sigma X \delta x &= - \Sigma \lambda (\delta x - \delta x_0) \\ \frac{1}{f\alpha} \Sigma Y \delta y &= - \Sigma \mu (\delta y - \delta y_0) \\ \Sigma \left(\frac{x'' \delta x' + y'' \delta y'}{\sigma'} - \frac{x_0'' \delta x_0' - y_0'' \delta y_0'}{\sigma_0'} \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

setzt. Im Allgemeinen werden die Constanten λ , μ ihre Werthe nur von einem Angriffspunkte bis zum nächstfolgenden behalten. Bezeichnet man ihre verschiedenen Werthe, so wie die der gegebenen Kräfte der Reihe nach durch

die Indices 0, 1, 2, ... n, so ergibt die Gleichsetzung der Coëfficienten identischer Variationen:

$$\begin{array}{ll} X_0 = \lambda_1 f\alpha & Y_0 = \mu_1 f\alpha \\ X_1 = (\lambda_2 - \lambda_1) f\alpha & Y_1 = (\mu_2 - \mu_1) f\alpha \\ X_2 = (\lambda_3 - \lambda_2) f\alpha & Y_2 = (\mu_3 - \mu_2) f\alpha \\ \vdots & \vdots \\ X_n = -\lambda_n f\alpha & Y_n = -\mu_n f\alpha \end{array}$$

Hieraus findet man die Werthe der λ , μ , und behält noch die Relationen:

$$\sum X = 0; \sum Y = 0 \quad (4)$$

Die dritte Gleichung erfordert, dafs $\frac{x''}{\sigma'}$ und $\frac{y''}{\sigma'}$, mithin auch $\frac{1}{\varrho\sigma'}$ zu beiden Seiten jedes Angriffspunktes gleiche Werthe haben, und für die zwei äufsersten Angriffspunkte $= 0$ sind; vorausgesetzt dafs der Stab frei der Einwirkung der Kräfte ausgesetzt ist. Sind irgend welche Punkte der Axe fest, so kann man in jedem derselben eine dem Drucke, welchen der Punkt erleidet, gleiche und entgegengesetzte Kraft wirkend denken; demnach hat man die drei Gleichungen (3) auch auf alle festen Punkte in Anwendung zu bringen; nur sind alsdann statt der Composanten die Coordinaten gegeben. Ist endlich in irgend welchen festen Punkten zugleich der Querschnitt fest, sind mithin x' und y' als unveränderlich gegeben, so wird die dritte Gleichung (3) in Bezug auf einen solchen Punkt durch das Verschwinden von $\delta x'$, $\delta y'$ erfüllt, und die Krümmung hat keine Bedingung zu erfüllen.

Durch Elimination zwischen den Gleichungen (2) erhält man:

$$1 - \frac{1}{\sigma'} = \lambda x' + \mu y' \quad (5)$$

$$b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{\varrho\sigma'} \right) = \lambda y' - \mu x'$$

und durch Integration der letzteren Gleichung

$$\frac{b}{\varrho\sigma'} = \lambda y - \mu x + v \quad (6)$$

Dieses Integral über den ganzen Stab ausgedehnt, ergiebt, im Fall dieser frei, also $\frac{1}{\varrho}$ an beiden Enden $= 0$ ist,

$$\Sigma(Xy - Yx) = 0,$$

woraus in Verbindung mit den Gleichungen (4) hervorgeht, daß das gegebene Kräftesystem für sich im Gleichgewicht seyn muß. Ferner ist:

$$\frac{\lambda y' - \mu x'}{\varrho} = (\lambda y' - \mu x') \frac{x''}{y'} = \lambda x'' + \mu y''.$$

Eliminirt man ϱ und σ' zwischen dieser Gleichung und den beiden (5) und (6), so kommt

$$b(1 - \lambda x' - \mu y')(\lambda x'' + \mu y'') = (\lambda y - \mu x + v)(\lambda y' - \mu x').$$

Dieses integrirt giebt:

$$b(1 - \lambda x' - \mu y')^2 + (\lambda y - \mu x + v)^2 = a.$$

Nach Ausführung der drei noch übrigen Integrationen sind die Coordinaten und ihre Differentialquotienten bekannte Functionen von σ und den 7 Integrationsconstanten. Verfolgt man die Intervalle zwischen den Angriffspunkten von einem Ende des Stabes zum andern, so bestimmen sich im ersten Intervalle vier Constanten durch die Wahl des Anfangs der x , y , ϱ , σ , eine durch die Anfangsrichtung und λ und μ durch die am Endpunkt wirkende Kraft. Die Länge des Intervalls ist gegeben, daher die Endwerthe der Variabeln bekannt. Aus ihnen findet man die Werthe der Constanten für das nächste Intervall mittelst der einzelnen Integralgleichungen, in denen jene Constanten der Reihe nach auftreten.

Man kann sich demnach den Stab in mehrere Stücke zerlegt denken, auf deren jedes zwei gleiche und entgegengesetzte Kräfte in den Endpunkten wirken; das Problem ist alsdann für den ganzen Stab gelöst, wenn die Biegung eines solchen isolirten Stückes bestimmt ist, oder mit anderen Worten, es ist auf den Fall zurückgeführt, wo nur zwei Kräfte in den Endpunkten wirken. Ehe ich jedoch zu diesem übergehe, muß ich die bisherige Betrachtung noch in einem Stück ergänzen.

Es ist nämlich bisher angenommen, daß alle Kräfte unmittelbar auf Punkte der Axe wirken. Auf diesen Fall ist die Anwendbarkeit der entwickelten Gleichungen nicht eingeschränkt. Liegen irgend welche Angriffspunkte außerhalb der Axe, nur in derselben Ebene und in fester Verbindung mit bestimmten Querschnitten, so erleidet überhaupt nichts als die dritte Gleichung (3) eine Aenderung. Fürs erste kann man eine solche Kraft ersetzen durch eine von gleicher Intensität und Richtung, die im Schwerpunkte des genannten Querschnittes wirkt, und durch ein Kräftepaar, dessen Moment das Product des Abstandes des Schwerpunktes von der Richtungslinie und der Intensität ist. Erstere hat ihre Stelle in den Gleichungen. Das Kräftepaar bringe man in eine solche Lage, daß die eine Seitenkraft längs der Ebene des Querschnitts wirkt. Bezeichnet M das Moment, und nimmt man das unendliche kleine Axenstück ∂s zur Breite, so wird die Intensität

$$= \pm \frac{M}{\partial s}.$$

Zerlegt man beide Seitenkräfte nach den Richtungen der x und y , so wird die Summe der virtuellen Momente derselben

$$\begin{aligned} &= \frac{M}{\partial s} (-y' \delta x + x' \delta y + y' \delta(x + x' \partial s) - x' \delta(y + y' \partial s)) \\ &= M \frac{y' \delta(x' \partial s) - x' \delta(y' \partial s)}{\partial s} \\ &= M(y' \delta x' - x' \delta y'). \end{aligned}$$

Identificirt man die Coëfficienten von $\delta x'$ und $\delta y'$ in der dritten Gleichung (2.), und bezeichnet durch $\varrho_0, \sigma_0', \varrho_1, \sigma_1'$ die Werthe der Variablen unmittelbar vor und nach dem Querschnitt, so erhält man übereinstimmend

$$bf\alpha \left(\frac{1}{\varrho_1 \sigma_1'} - \frac{1}{\varrho_0 \sigma_0'} \right) = M$$

an Stelle der dritten Gleichung (3): das ist nach Gleichung (6)

$$f\alpha((\lambda_0 - \lambda_1)y - (\mu_0 - \mu_1)x + \nu_0 - \nu_1) = M \quad (7)$$

oder

$$Yx - Xy + (v_0 - v_1)fa = M$$

wo X und Y die Componenten der in Rede stehenden Kraft bezeichnen. Demnach ist überhaupt

$$fav = \Sigma(Yx - Xy) - \Sigma M$$

beide Summen einzeln vom Anfang des Stabes bis zum Anfang des Intervalls gerechnet, worauf sich v bezieht.

Es mögen jetzt in den Endpunkten eines freien Stabes zwei Kräfte im Gleichgewicht mit den Spannungen, mithin einander gleich und entgegengesetzt wirken. Die Richtungslinie, d. i. die Verbindungslinie der Endpunkte, sey Axe der x , überdiess mögen x , y und s denselben Anfangspunkt wie σ haben. Dann werden beide $Y = 0$, also auch μ , und nach Gleichung (6), wenn man $y = 0$ setzt, auch v . Setzt man

$$p = \lambda fa$$

so sind p und $-p$ die zwei Kräfte, welche beziehungsweise am Anfang und Ende, also im Sinne einer Längencompression wirken.

Die Gleichung der Curve ist jetzt

$$b(1 - \lambda x')^2 + \lambda^2 y^2 = a$$

und die Beziehung zum ursprünglichen Zustande ist durch die Gleichung ausgedrückt:

$$\sigma' = \frac{b}{\lambda y_0} = \frac{b}{\lambda} \frac{x''}{yy'}.$$

Des bequemerem Ausdrucks wegen wende man folgende Substitutionen an:

$$\lambda = \frac{\sin^2 \beta}{\cos^2 \gamma}; \quad a = b \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \gamma}$$

$$y = 2\sqrt{b} \frac{\sin \gamma}{\sin^2 \beta} \sqrt{z} \sqrt{\cos^2 \beta - z \sin^2 \gamma}$$

Zur Abkürzung sey überdiess

$$N = \sqrt{z} \sqrt{1 - z} \sqrt{\cos^2 \beta - z \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta - (1 - z) \sin^2 \gamma}$$

dann wird

$$x' = 1 - 2(1 - z) \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2 \beta}$$

$$y' = \frac{2 \sin \gamma}{\sin^2 \beta} \sqrt{1 - z} \sqrt{\sin^2 \beta - (1 - z) \sin^2 \gamma}$$

$$\sigma' = \frac{\cos 2\gamma}{\cos^2 \beta - 2z \sin^2 \gamma}$$

und nach Integration erhält man die Werthe:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\sqrt{b}}{2 \sin^2 \beta} \int_0^{\frac{\partial z}{N}} (\cos^2 \beta - 2z \sin^2 \gamma \sin^2 \beta - 2(1 - z) \sin^2 \gamma) \frac{\partial z}{N} \\ y &= 2\sqrt{b} \frac{\sin \gamma}{\sin^2 \beta} \sqrt{z} \sqrt{\cos^2 \beta - z \sin^2 \gamma} \\ s &= \frac{1}{2} \sqrt{b} \int_0^{\frac{\partial z}{N}} (\cos^2 \beta - 2z \sin^2 \gamma) \frac{\partial z}{N} \\ \sigma &= \frac{1}{2} \sqrt{b} \cos 2\gamma \int_0^{\frac{\partial z}{N}} \frac{\partial z}{N} \end{aligned} \right\} (8)$$

Hier ist σ ein elliptisches Integral erster Gattung, x erster und zweiter, s erster und dritter. Mittelst der inversen Functionen kann man daher x , y und s explicite in σ ausdrücken, wodurch die Bedingung erfüllt ist, von der allein die Lösung des Problems für beliebig viele Kräfte noch abhing.

Der Scheitel der Curve, bestimmt durch $y' = 0$, findet sich ausgedrückt durch $z = 1$. Bezeichnet man die auf ihn bezüglichen Werthe der Variabeln durch den Index 1, so ist $2\sigma_1$ die ursprüngliche Länge des Stabes, $2s$ seine Länge nach der Biegung, $2x_1$ die Sehne und y_1 die Größe der Biegung oder der größte Abstand der Curve von der Sehne.

Ist eine Endfläche des Stabes fest, während im Schwerpunkte der andern die Kraft p in gegebener Richtung wirkt, so bleiben sämtliche Gleichungen in Geltung; nur stellt die Axe des Stabes nicht mehr die ganze Curve dar, sondern nur das Stück derselben von $s = 0$ bis zu demjenigen Punkte, wo ihre Tangente mit der x -Axe denselben Winkel bildet wie die gegebene feste Tangente mit der Richtung der Kraft. Bekannt sind hier x' , y' und σ für

jenen Punkt und λ ; dagegen erfordert die Bestimmung von a die Auflösung der transcendenten Gleichung, welche x' in σ ausdrückt. Der andere Endpunkt der Curve liegt auf der Richtungslinie der Kraft, doch ist seine Entfernung gleichfalls noch unbekannt. In dem besondern Falle jedoch, wo die gegebene Kraft in der Richtung der festen Tangente wirkt, sind alle Elemente bekannt; das feste Ende der Axe ist der Scheitel, die Länge des Stabes ist $= \sigma_1$.

Liegt der Angriffspunkt nicht im Schwerpunkt der Endfläche, sondern ausserhalb in fester Verbindung mit der Endfläche, so kann man die Axe der x nicht mehr als die Richtungslinie der Kraft definiren, dagegen bleibt sie wie vorher die Gerade:

$$\lambda y - \mu x + \nu = 0$$

und man findet sie, indem man μ und $\nu = 0$ setzt, aus der Gleichung (7), welche für das freie Ende der Stabaxe die Ordinate

$$y = \frac{M}{p}$$

ergiebt. Diese hat man senkrecht auf die Richtungslinie von jenem Ende aus abzutragen, und durch ihren Endpunkt geht dann die Axe der x , auf welcher die beiden Enden der Curve $s = 0$ und $s = 2s_1$ liegen.

Sind endlich beide Endflächen fest, so kann der Stab jedes beliebige Stück der Curve mit Einschluss ihrer Verlängerung über die Punkte $s = 0$ und $s = 2s_1$ hinaus darstellen. Wie sich die Curve ins Unendliche nach beiden Seiten hin fortsetzen lässt, ist leicht zu sehen: sie schneidet die Axe der x in Punkten, die um $2x_1$ von einander abstehen, und bildet zwischen denselben abwechselnd auf der einen und andern Seite dieser Axe immer congruente Bogen. In den Axendurchschnitten findet stets, und ausserdem nie ein Wendepunkt statt.

Das Gemeinschaftliche aller Fälle ebener Biegung bei ausschliesslicher Einwirkung auf die Endflächen ist also, dass die Axe des Stabes stets dieselbe von zwei Parame-

tern abhängige Curve bildet. Das Unterscheidende besteht nur darin, daß die Stabaxe bald das eine, bald das andere Stück dieser Curve darstellt. Wirken mehrere Kräfte in beliebigen Punkten, so entsteht eine Curve, die aus mehreren solchen Stücken zusammengesetzt ist, abweichend in den Werthen ihrer Parameter und in der Lage ihrer Axen. Zur Orientirung muß demnach in jedem Falle das erste seyn, die Lage der Axe und die Punkte der Nullkrümmung zu bestimmen, in denen sie von der Curve geschnitten wird. Der Fall, wo der Stab frei ist, und die Kräfte nur an den Enden wirken, ist in sofern der einfachste, weil jene Punkte schon bekannt sind; man kann bei der Untersuchung von keinem andern ausgehen, ohne der Einsicht in den Zusammenhang in den Weg zu treten.

Die Lösung der folgenden speciellen Aufgaben geht leicht aus den aufgestellten allgemeinen Gleichungen hervor:

1. *Die stärkste Compression zu bestimmen, welche ein Stab seiner Länge nach erleiden kann, ohne sich zu biegen.*

Aus der zweiten Gleichung (8) sieht man, daß y in der ganzen Ausdehnung des Stabes verschwindet, wenn man γ verschwinden läßt; zu gleicher Zeit nimmt

$$p = f\alpha \frac{\sin^2 \beta}{\cos 2\gamma}$$

bis auf $f\alpha \sin^2 \beta$ ab. Dieser Endwerth von p ist also das Maximum der comprimirenden Kraft, bei welcher der Stab noch gerade ist. Die übrigen Variabeln werden für $\gamma = 0$:

$$x_1 = s_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{b \cot \beta}$$

$$\sigma_1 = \frac{\pi}{2} \frac{\sqrt{b}}{\sin \beta \cos \beta}$$

$$x : s : \sigma = x_1 : s_1 : \sigma_1.$$

Nach Elimination von β erhält man

$$\frac{p}{f\alpha} = 1 - \frac{s_1}{\sigma_1} = \frac{\pi^2}{4} \frac{b}{s_1 \sigma_1} \text{ nahezu } = \frac{\pi^2 b}{4 \sigma_1^2}.$$

Die Verkürzung $2(\sigma_1 - s_1)$ ist also unabhängig vom Material, die Kraft proportional der Elasticität desselben.

2. Die Veränderungen, welche eine unendlich kleine Biegung eines der Länge nach comprimierten Stabes begleiten, nebst der dazu erforderlichen Kraft zu bestimmen.

Eine unendlich kleine Biegung findet statt, wenn γ unendlich klein ist. Entwickelt man die Ausdrücke (8) bis zur zweiten Potenz von γ , so kommt

$$x_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{b \cot \beta} \left(1 - \frac{3\gamma^2}{\sin^2 2\beta} \right)$$

$$y_1 = 2\gamma \sqrt{b} \frac{\cos \beta}{\sin^2 \beta}$$

$$s_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{b \cot \beta} \left(1 + \gamma^2 \frac{1 - 4 \sin^2 \beta}{\sin^2 2\beta} \right)$$

$$\sigma_1 = \frac{\pi \sqrt{b}}{2 \sin \beta \cos \beta} \left(1 + \gamma^2 \frac{\cos 4\beta}{\sin^2 2\beta} \right)$$

$$p = f \alpha \sin^2 \beta (1 + 2\gamma^2).$$

Der Werth, welchen β unmittelbar vor Eintreten der Biegung hatte, sey einstweilen durch c bezeichnet; dann ist, weil σ_1 stets unverändert bleibt,

$$\sin 2\beta = \sin 2c \left(1 + \gamma^2 \frac{\cos 4c}{\sin^2 2c} \right)$$

woraus

$$\cot \beta = \cot c \left(1 - \gamma^2 \frac{2 \cot 4c}{\sin 2c} \right)$$

$$\sin^2 \beta = \sin^2 c (1 + 2\gamma^2 \cot c \cot 4c).$$

Außerdem ist

$$\gamma = \frac{y_1}{2\sqrt{b}} \frac{\sin^2 c}{\cos c} = \frac{\pi y_1}{4\sigma_1} \frac{\sin c}{\cos^2 c}.$$

Dies eingeführt giebt, wenn p_0 , l die Kraft und die Länge des Stabes unmittelbar vor Eintreten der Biegung bezeichnet,

$$2x_1 = l \left(1 - \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^3}{\sigma_1^3} \frac{2 - 7 \sin^2 c + 4 \sin^4 c}{\cos^6 c \cos 2c} \right)$$

$$2s_1 = l \left(1 + \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \frac{\sin^2 c}{\cos^6 c \cos 2c} \right)$$

$$p = p_0 \left(1 + \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \frac{1 - 4 \sin^2 c}{\cos^4 c \cos 2c} \right).$$

Demzufolge fährt die Sehne, welche sich schon von $2\sigma_1$ bis l verkürzt hat, beim Eintreten der Biegung fort kürzer zu werden; die Längenaxe des Stabes hingegen fängt von da an sich wieder auszudehnen, und l ist überhaupt das Minimum der Länge, bis auf welches der Stab zusammengedrückt werden kann, wenn er nach den Seiten zu frei ist. Die Kraft muß mit der Biegung ferner zunehmen; der Fall $1 - 4\sin^2 c < 0$ nämlich, wo das Gegenheil stattfinden würde, tritt erst ein für

$$b > \frac{3\sigma_1^2}{4\pi^2}$$

das ist bei rechteckigem Querschnitt, für eine Dicke $> \frac{3}{\pi} \sigma_1$, wo die Hauptwirkung der Compression nicht in Biegung, sondern in Erweiterung des Querschnitts besteht.

Vernachlässigt man im Coëfficienten von y_1^2 den geringen Unterschied zwischen der anfänglichen und comprimierten Länge, so erhält man

$$2x_1 = l \left(1 - \frac{\pi^2}{16} \frac{y_1^3}{\sigma_1^3} \right)$$

$$2s_1 = l \left(1 + \frac{\pi^4}{128} \frac{by_1^3}{\sigma_1^4} \right)$$

$$p = p_0 \left(1 + \frac{\pi^2}{32} \frac{y_1^2}{\sigma_1^2} \right).$$

Liegen die zwei Angriffspunkte nicht im Schwerpunkte der Endflächen, sondern in einem Abstände $= r$ von demselben, so behalten die Formeln ihre Geltung, nur mit veränderter Bedeutung der Buchstaben. Bezeichnet man durch den Index 0 die auf die Endflächen bezüglichen Größen, so ist prx'_0 das Moment des Kräftepaares, daher

$$y_0 = rx'_0,$$

woraus sich z_0 , x_0 , s_0 , σ_0 ergeben. Die Sehne ist jetzt $2(x_1 - x_0)$, die Axenlänge $2(s_1 - s_0)$ und anfänglich $2(\sigma_1 - \sigma_0)$. Der vorige Werth von p steht in keiner unmittelbaren Beziehung zu der wirkenden Kraft.

Da y_0 hier stets > 0 , und $y_1 > y_0$ ist, so findet bei der geringsten Compression schon eine entsprechende Bie-

gung statt. Der Werth von p muß daher, im Augenblick wo $r=0$ wird, eine plötzliche Zunahme erhalten, während gleichzeitig σ_1 etc. plötzlich um ein Stück kleiner werden.

3. Für den Fall, wo eine Endfläche fest ist, und im Schwerpunkte der anderen eine Kraft in gegebener Richtung wirkt, die begleitenden Umstände einer unendlich kleinen Biegung zu bestimmen.

Vorausgesetzt daß der Winkel φ , den die Richtung der Kraft mit der festen Tangente bildet, nicht $=0$ ist, (in welchem Falle die Aufgabe mit der vorigen identisch wäre) ist auch die Biegung der vervollständigten Curve nicht unendlich klein; dagegen muß die Länge des Stabes ein unendlich kleines Stück von $2s_1$ seyn. Beziehen sich die Bezeichnungen der Variabeln auf den Endpunkt der Stabaxe, so ist demnach auch z unendlich klein, so daß es hinreicht, die Ausdrücke nach Potenzen von z auf zwei Gliedern zu entwickeln. Ueberdies seyen ψ und ϑ die Winkel, welche die Richtung der Kraft mit der Tangente im freien Ende und mit der Sehne bildet. Dann ist

$$\cos \psi = 1 - \frac{2 \sin^2 \gamma}{\sin^2 \beta}$$

$$\sin \gamma = \sin \beta \sin \frac{\psi}{2}$$

$$x = \sqrt{bz} \cot \beta \frac{\cos \psi}{\cos \frac{\psi}{2}} \left\{ 1 + \frac{1}{6} z \left(\frac{1}{\cos \psi \cos^2 \frac{\psi}{2}} - 3 \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right\}$$

$$y = 2 \sqrt{bz} \cot \beta \sin \frac{\psi}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{2} z \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right\}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{bz} \cos 2\gamma}{\sin \beta \cos \beta \cos \frac{\psi}{2}} \left\{ 1 + \frac{1}{6} z \left(1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\psi}{2} + \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right\}$$

$$s = \frac{\sqrt{bz} \cot \beta}{\cos \frac{\psi}{2}} \left\{ 1 + \frac{1}{6} z \left(1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\psi}{2} - 3 \operatorname{tg}^2 \beta \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right\}$$

$$x' = \cos \psi + 2 z \sin^2 \frac{\psi}{2}$$

$$y' = \sin \psi \left(1 - \frac{1}{2} z \frac{\cos \psi}{\cos^2 \frac{\psi}{2}} \right)$$

woraus hervorgeht

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y'}{x'} = \operatorname{tg} \psi \left(1 - \frac{z}{2 \cos \psi \cos^2 \frac{\psi}{2}} \right)$$

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{y}{x} = \operatorname{tg} \psi \left(1 - \frac{z}{6 \cos \psi \cos^2 \frac{\psi}{2}} \right)$$

$$\operatorname{tg}(\psi - \vartheta) = \frac{1}{3} z \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}$$

$$\operatorname{tg}(\vartheta - \varphi) = \frac{2}{3} z \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}.$$

Die Tangente am festen Ende bildet also mit der Sehne einen doppelt so großen Winkel als die Tangente am freien Ende.

Ist r die Sehne, so ergibt sich ferner

$$r = \sqrt{bz} \frac{\cos \beta}{\cos \frac{\psi}{2}}$$

daher ist die Größe der Biegung oder der Abstand des freien Endes von der festen Tangente

$$B = r \sin(\vartheta - \varphi) = \frac{2}{3} \sqrt{bz} \frac{3}{2} \cot \beta \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\cos^2 \frac{\psi}{2}}$$

Der Ausdruck von σ zeigt, daß β unendlich klein ist. Eliminirt man β und z zwischen der letzten Gleichung und den beiden

$$p = f \alpha \frac{\sin^2 \beta}{\cos 2\gamma}; \quad \sigma = \frac{\sqrt{bz} \cos 2\gamma}{\sin \beta \cos \beta \cos \frac{\psi}{2}}$$

so erhält man

$$B = \frac{\sigma^3 p \sin \varphi}{3 b f \alpha}$$

mit Weglassung unendlich kleiner Größen höherer Ordnungen.

Die Verkürzung des Stabes, welche mit der Biegung zugleich eintritt, ist

$$\sigma - s = \sqrt{bz} \operatorname{tg} \beta \frac{\cos \psi}{\cos \frac{\psi}{2}} = \frac{\sigma p \cos \varphi}{f \alpha} = \frac{3 B b}{\sigma^2} \cot \varphi.$$

4. Die Bedingungen des Zerbrechens.

Die Biegung hat ein Zerbrechen des Stabes zur Folge, wenn die größte darin vorkommende Spannung eine gewisse Gränze übersteigt, welche das Material vertragen kann. Im Allgemeinen war die Spannung

$$q = \alpha \left(\frac{1}{\sigma'} - 1 + \frac{\tau}{\rho \sigma'} \right)$$

das ist den gefundenen Werthen zufolge

$$q = \frac{p}{f} \left(\frac{\tau y}{b} - x' \right).$$

Dies ist, nachdem man für τ bereits den größten Werth genommen hat, ein Maximum für

$$\frac{\tau y'}{b} - x'' = 0$$

Die zwei Auflösungen dieser Gleichungen sind

$$\frac{x''}{y'} = \frac{1}{\rho} = \frac{\tau}{b}; \quad y' = x'' = 0.$$

Die letztere entspricht nur dann einem Maximum, wenn ρ , vom Ende bis zum Scheitel abnehmend, den Werth $\frac{b}{\tau}$ nicht erreicht; im andern Fall einem Minimum. Dieser Werth ist jedoch stets so klein, daß wir den erstern Fall als einen in Wirklichkeit nie eintretenden bei Seite lassen können. Demnach ist die Spannung stets am größten im äußersten Punkte des durch den Scheitel gehenden Querschnitts. Ist q die größte Spannung, welche das Material verträgt, p die von beiden Seiten den Stab der Länge nach comprimirende Kraft, welche diese Spannung hervorbringt, so hat man

$$q = \frac{p}{f} \left(\frac{\tau y_1}{b} - 1 \right).$$

Die Spannung wird hier als positiv oder negativ gedacht, je nachdem sie durch Dehnung oder Compression bewirkt wird; nur die erstere kann zu einem Zerbrechen führen. Der Formel zufolge muß y_1 erst eine gewisse vom Querschnitt allein abhängige Gröfse erreichen, ehe die Span-

nung überhaupt positiv wird, z. B. beim rechteckigen Querschnitt $\frac{1}{6}$ der Dicke.

Ist eine Endfläche fest, so ist zu unterscheiden, ob der Scheitel zwischen beiden Endflächen oder jenseit der festen fällt. Im ersten Falle, d. i. wenn die Richtungslinie der Kraft mit der festen Tangente convergirt, oder ihr parallel ist, bleibt die aufgestellte Bedingungsgleichung in Geltung. Im letzteren, wenn nämlich jene divergirt, ist offenbar die größte Spannung im äußersten Punkte des festen Querschnitts. Man hat alsdann die allgemeinere Formel

$$q = \frac{p}{f} \left(\frac{ry}{b} - x' \right)$$

in Anwendung zu bringen.

Zum Schlufs will ich noch die Gleichung der doppelt gekrümmten Curve entwickeln, in welcher sich ein Stab unter der Einwirkung beliebig gerichteter Kräfte biegt, wenn die zu Anfang ausgesprochenen Annahmen erfüllt sind. Der Werth von Q in Gleichung (1) ist auch hier noch gültig. Führt man ein rechtwinkliges System der xyz ein, so kann man wie vorher die Gleichung auf die Form bringen

$$\int U \delta x \delta s + \int V \delta y \delta s + \int W \delta z \delta s \\ + \Sigma (A - A_0) = \frac{1}{f\alpha} \Sigma (X \delta x + Y \delta y + Z \delta z).$$

Die Gleichungen $U=0$, $V=0$, $W=0$ geben integrirt

$$x' \left(1 - \frac{1}{\sigma'} - bu \right) + b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) = \lambda$$

$$y' \left(1 - \frac{1}{\sigma'} - bu \right) + b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) = \mu$$

$$z' \left(1 - \frac{1}{\sigma'} - bu \right) + b \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{z''}{\sigma'} \right) = \nu$$

wo der Kürze wegen gesetzt ist

$$u = x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) + y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) + z' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{z''}{\sigma'} \right).$$

Verbindet man sie, wie folgt

$$b \left[y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{z''}{\sigma'} \right) - z' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) \right] = \nu y' - \mu z'$$

$$b \left[z' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) - x' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{z''}{\sigma'} \right) \right] = \lambda z' - \nu x'$$

$$b \left[x' \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{y''}{\sigma'} \right) - y' \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{x''}{\sigma'} \right) \right] = \mu x' - \lambda y'$$

$$1 - \frac{1}{\sigma'} = \lambda x' + \mu y' + \nu z' = w' \quad (9)$$

so kann man aufs neue integrieren, und erhält

$$b \frac{y' z'' - z' y''}{\sigma'} = \nu y - \mu z + A = v_1$$

$$b \frac{z' x'' - x' z''}{\sigma'} = \lambda z - \nu x + B = v_2$$

$$b \frac{x' y'' - y' x''}{\sigma'} = \mu x - \lambda y + C = v_3$$

woraus sich zusammensetzen läßt

$$v_1 v'_1 + v_2 v'_2 + v_3 v'_3 = b \frac{\lambda x'' + \mu y'' + \nu z''}{\sigma'} = b(1 - w')w''$$

Dies integriert giebt

$$v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + b(1 - w')^2 = a. \quad (10)$$

Aus den vorigen drei Gleichungen folgt noch

$$v_1 x' + v_2 y' + v_3 z' = 0 \quad (11)$$

$$v_1 x + v_2 y + v_3 z = A x + B y + C z$$

$$v_1 \lambda + v_2 \mu + v_3 \nu = A \lambda + B \mu + C \nu$$

Setzt man

$$\lambda^2 + \mu^2 + \nu^2 = p^2; \quad \mu^2 + \nu^2 = p_1^2$$

$$A \lambda + B \mu + C \nu = h$$

und verlegt das Coordinatensystem der Art, daß x, y, z der Reihe nach in

$$\begin{aligned} & \frac{\lambda x}{p} + \frac{p_1}{p} \\ & \frac{\mu x}{p} + \frac{\lambda \mu y}{p p_1} + \frac{\nu z}{p_1} - \frac{\nu h}{\lambda p^2} + \frac{C}{\lambda} \\ & \frac{\nu x}{p} - \frac{\lambda \nu y}{p p_1} - \frac{\mu z}{p_1} + \frac{\mu h}{\lambda^2} - \frac{B}{\lambda} \end{aligned}$$

übergehen, so gehen die Gleichungen (10) (11) (9) über in folgende:

$$p^2(y^2 + z^2) + b(1 - px')^2 = a$$

$$p^2(yz' - zy') = hx'$$

$$1 - \frac{1}{\sigma'} = px'$$

und, wenn man $y = r \cos \vartheta$, $z = r \sin \vartheta$ setzt,

$$p^2 r^2 + b(1 - px')^2 = a$$

$$p^2 r^2 \vartheta' = hx'$$

$$\frac{1}{\sigma'} = 1 - px'$$

wozu noch die identische Gleichung

$$x'^2 + r'^2 + r^2 \vartheta'^2 = 1$$

kommt. Eliminirt man x' und ϑ' , und setzt

$$n = \sqrt{\frac{a - p^2 r^2}{b}}$$

$$N = \sqrt{p^4(a - bn^2) - (h^2 + ap^2 - bp^2 n^2)(1 - n)^2}$$

so erhält man

$$s = \frac{p}{b} \int \frac{n \partial n}{N}$$

$$x = \frac{1}{b} \int \frac{n(1 - n) \partial n}{N}$$

$$\vartheta = \frac{h}{b} \int \frac{n(1 - n) \partial n}{(a - bn^2)N}$$

$$\sigma = \frac{p}{b} \int \frac{\partial n}{N}$$

$$r = \frac{1}{p} \sqrt{a - bn^2}$$

Hiermit sind die Gleichungen der Curve und die Beziehung zum anfänglichen Zustand des Stabes ausgedrückt. Die Relationen der Kräfte sind dieselben wie bei ebener Biegung, da die Componenten nur einzeln in denselben auftreten. Die Torsion der Curve erhält man sehr leicht, indem man die zwei Systeme dreier Gleichungen beziehungsweise multiplicirt und die Summe nimmt; sie ist

$$= \frac{h_0}{b^2} \sigma'^2$$

Für $h = 0$ wird also die Curve eben.

IV. *Ueber den aufsteigenden Luftstrom, die Entstehung des Hagels und der Wirbel-Stürme;*
von F. Vettin.

Den Vorgang beim Aufsteigen der Luft über einem erwärmten Boden kann man sich durch folgenden Versuch leicht veranschaulichen; man bringt unter eine geräumige Glasglocke Tabacksrauch und erhitzt, wenn derselbe sich ruhig über der Bodenplatte gelagert, eine Stelle der letzteren ein wenig mittelst einer Weingeistlampe. Als bald erhebt sich die Luft in Form einer Garbe mit oben umgebogenen und in sich zurücklaufenden Rändern, etwa so wie Fig. 1, Taf. III zeigt.

Bewirkt man in einem Glaskasten von der früher ¹⁾ angegebenen Größe, in welchem die Luft nach der Richtung der Pfeile (Fig. 2, Taf. III) in Circulation versetzt worden, einen localen aufsteigenden Luftstrom dadurch, daß man eine Stelle der Bodenplatte etwa bei *c* (Fig. 2, Taf. III) etwas erwärmt, so wird die nun entstehende oben beschriebene Garbe durch den unteren Strom nach der Seite hin abgelenkt; die rotirende Bewegung des Randes combinirt sich mit der nach einer Richtung hin stattfindenden Bewegung des unteren Stromes; der Rand erweitert sich bei *b* und verkleinert sich bei *a*. Der obere Theil des Randes *b* bewegt sich schneller, der untere Theil, welcher der unteren Strömung entgegen gerichtet ist, langsamer oder er kommt gar nicht zu Stande.

Im Augenblicke, wo der bei *c* aufsteigende Luftstrom die Gränzregion beider über einander fließenden Luftmeere durchbricht (Fig. 3, Taf. III), erweitert sich der rotirende Rand bei *a*, indem sein oberer Theil mit dem oberen, sein unterer mit dem unteren Strome sich fortbewegt; dagegen zieht sich der Rand bei *b* zusammen, da die Richtung seines oberen Theiles der oberen Strömung entgegengesetzt

1) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 99.

ist; aus der letzteren sinkt Luft bei *b* herab, um Theil zu nehmen an der Rotation.

Betrachtet man den rund um *c* (Fig. 3, Taf. III) auf der Bodenplatte befindlichen Rauch während des Versuches, so bemerkt man, daß derselbe über *e* nach *c* zu schnell fortgesetzt wird, über *d* dagegen ruhiger in seiner Lage verbleibt; es folgt dies einfach daraus, daß die von *d* nach *c* strömende Luft dem unteren Strome der großen Circulation entgegen, die von *e* nach *c* strömende derselben gleich gerichtet ist, daß jene daher mit dem Unterschiede, diese dagegen mit der Summe der Geschwindigkeiten sich bewegt.

Bewirkt man ein noch schnelleres Aufsteigen der Luft, so bewegt sich dieselbe über *d* (Fig. 4, Taf. III) nach *c* zu. Die Luft des oberen Stromes sinkt bei *b* (Fig. 4) heftig herab; es bildet sich eine rückläufige Circulation über *g* und *c*.

Die Rotationen des Randes bei *b* bleiben bei diesem letzteren Versuch häufig längere Zeit bestehen, besonders dann, wenn vor Beginn desselben ein Stückchen Holz (gleichsam ein Gebirge) bei *c* (Fig. 5, Taf. III) quer auf die Bodenplatte des Glaskastens gesetzt worden war. Man sieht dann nicht selten, daß zwischen dem bei *c* aufsteigenden und bei *g* herabsinkenden Luftstrom durch diesen letzteren die rotirende Luft des Randes in Form eines um seine horizontale Axe sich drehenden Schlauches (*b* Fig. 5, Taf. III zeigt den Durchschnitt) herunter gerollt wird.

Wie hier im Kleinen, so werden sich auch innerhalb der Atmosphäre ähnliche Bewegungen der Luft bilden; erhebt sich die Luft über einen stärker erwärmten Theil der Erdoberfläche, so wird dies auch, wenn die Bewegung inmitten einer Windstille besonders regelmäßig vor sich geht, in Form einer großen Garbe mit dem charakteristischen rotirenden Rande geschehen. Stellt Fig. 6, Taf. III ein Stück Erdoberfläche dar, unten der Polarstrom oben der Aequatorialstrom in der Richtung der stark gezeichneten Pfeile fließend, so erreicht der bei *c* aufsteigende

Luftstrom bei großer Ebbe des Polarstromes (bei tiefem Barometerstande) bald die Region der Gränzfläche (die untere punctirte Linie Fig. 6, Taf. III), der Rand bei *a* erweitert sich, der obere Theil fließt mit dem oberen, der untere mit dem unteren Strome; der Rand bei *b* bleibt in Rotation, indem ein Theil des oberen Luftmeeres bei *b* herabsinkend auf die Erdoberfläche gelangt, die über *d* entstandene rückläufige Circulation beschleunigend. Ein Niederschlag, der sich im unteren Theile des rotirenden Schlauches (*b'* Fig. 6, Taf. III) bildet, wird durch die Gewalt der rotirenden Luft in die Höhe geführt (nach *b*), gefriert, wenn die Temperatur daselbst unter Null ist. Sobald das Korn wiederum in den unteren Theil gelangt, setzt sich neuer flüssiger Niederschlag daran, der, wenn dasselbe wiederum nach oben kömmt, anfriert, und so geht es fort, bis das gebildete Hagelkorn wegen seiner Schwere in der Tangente des Wirbels auf den Boden geschleudert wird; die Anzahl seiner concentrischen Eisschichten entspricht der Anzahl derjenigen Umläufe, während welcher es im oberen Theile einer Temperatur unter Null ausgesetzt war.

Wie beim Versuch, kann auch im Großen der rotirende Hagelschlauch durch die über *g* (Fig. 6, Taf. III) herabstürzende Luft des oberen Luftmeeres bis nahe auf die Erdoberfläche gerollt werden, ehe er zerfällt und seinen Inhalt ausschüttet.

Herrscht in der Gegend des unteren Theils der Rollen (bei *b'* Fig. 6, Taf. I) ebenfalls eine Temperatur unter Null Grad, so können sich in denselben natürlich nur feste schneeartige Niederschläge bilden; bei jedem Umschwunge vergrößern sich die Körnchen, enthalten kein durchsichtiges Eis und bilden die Graupeln. Kommen, indem die Rollen tiefer herabsinken, nunmehr ihre unteren Theile in Gegenden, deren Temperatur über dem Gefrierpunkt ist, so schlägt sich um das gebildete Graupelkorn flüssiges Wasser nieder, welches wiederum in den oberen Theilen gefriert. (Die Graupeln überziehen sich mit durchsichtigem Eise.)

Herrscht endlich in der Gegend des oberen Theiles (*b*) der Rollen, als sie sich bildeten, eine Temperatur über Null Grad, so gefriert der unten gebildete Niederschlag oben nicht; die einzelnen Tropfen vergrößern sich alsdann bei jedem Umschwunge; beim Ausschütten stürzt ein mehr oder minder grofstropfiger Regen hernieder (Wolkenbrüche, Gewitterregen, Platzregen).

Erhitzt man in einem Kasten einen großen Theil der Bodenfläche, so steigt die Luft immer nur am wärmsten Theil in die Höhe; ist also eine große Strecke der Erdoberfläche zwischen *e* und *h* (Fig. 6, Taf. III) erwärmt, und hat sich bei *c* am südlichsten und wärmsten Ende derselben ein aufsteigender Luftstrom gebildet, so wird durch die bei *g* herabfallenden Niederschläge die Temperatur nach *c* zu abgekühlt, alsdann rückt die Gegend der größten Wärme und mit ihr der aufsteigende Luftstrom immer weiter nach *h* zu und ihm folgt der herabstürzende Strom des oberen Luftmeeres.

In dieser Weise bewegt sich die rückläufige Circulation *gc* in der Richtung nach *h* zu, und haben sich Anfangs die beschriebenen Schläuche gebildet, so wird ihre Rotation beim Weiterrücken nach *h* zu fortwährend unterhalten durch den vor ihnen aufsteigenden und hinter ihnen herabsinkenden Luftstrom. Auf solche Weise können Hagelwetter weite Strecken zurücklegen in der Richtung des oberen Aequatorialstromes von SW nach NO.

Eine deutliche Anschauung von dem Vorgange beim Herabsinken der Luft aus dem oberen Luftmeere in die absteigenden Luftströme der rückläufigen Circulationen, giebt folgender Versuch:

Man nehme einen oben offenen Glaskasten (von etwa $2\frac{1}{3}$ " Breite $9\frac{1}{4}$ " Höhe 13" Länge) und lege auf die Bodenplatte nahe dem einen Ende *a* (Fig. 7, Taf. III) ein größeres Stück Eis. Als bald beginnt die Luftcirculation im freien unbedeckten Raum, die man sichtbar macht, indem man von Zeit zu Zeit mittelst einer Röhre langsam Tabacksrauch in den Glaskasten sinken läßt. Der untere Strom

bewegt sich in der früher beschriebenen charakteristischen Bahn ¹⁾; (man sieht bei dieser Circulation im freien Raum am schönsten das Abprallen der Luft von der Bodenfläche, das Auf- und Abwogen des unteren Stromes.) Es versteht sich, daß während des Experimentes die Luft im Zimmer möglichst ruhig seyn muß, da sonst von oben her in den offenen Kasten, störende Luftwirbel eindringen. Man kann nun innerhalb der großen Circulation leicht kleinere hervorbringen, wenn man kleinere Stückchen Eis auf den Boden des Glasgefäßes hie und da hinlegt.

Stellt Fig. 8, Taf. III einen Theil der im unbedeckten Raume stattfindenden und Fig. 7 gezeichneten Circulation, in der Richtung der stark gezeichneten Pfeile fließend dar, und liegt bei *a* ein kleines Stückchen Eis, so bildet sich über *ab* eine Circulation, deren unterer Lauf von *a* nach *b* gerichtet ist, also entgegen dem unteren Lauf der großen Circulation. Die Luft der oberen Strömung sinkt langsam herab, innerhalb der oberen Strömung schräg von *c* nach *d*, dann kehrt sie, sobald sie in den Bereich der unteren Strömung gekommen ist in einem spitzen Winkel um, und geht schräg abwärts von *d* nach *e*; ein kleiner Theil gelangt in die rückläufige Circulation, der größte Theil zieht weiter nach SW. Der Weg, den die herabsinkende Luft macht, beschreibt hienach einen Winkel *cde*.

Man kann nun den bei *b* aufsteigendem Luftstrom verstärken, dadurch, daß man bei *b* die Bodenplatte äußerst wenig erwärmt (Fig. 9, Taf. III). Dann stellt sich der aufsteigende Luftstrom steiler, der Winkel *cde* wird stumpfer, ein größerer Theil der herabsinkenden Luft gelangt in den unteren Lauf der rückläufigen Circulation.

Erwärmt man *b* ein klein wenig mehr (Fig. 10, Taf. II), so sinkt die Luft von *c* nach *e* fast gerade herab, und gelangt zum aller größten Theil in den unteren Lauf der rückläufigen Circulation, bei *b* giebt der aufsteigende Luftstrom entsprechend Luft ab, die mit dem oberen Luftmeere fortzieht.

1) Pogg. Ann. Bd. 100, S. 596.

Letzteres bleibt an seiner oberen Gränze in seiner Bewegung von SW nach NO ungestört.

Je höher also der aufsteigende Luftstrom steigt, desto heftiger sinkt die Luft aus der oberen Strömung herab, um so mehr Luft gelangt aus ihm in den unteren Lauf der rückläufigen Circulation. Für ein und dieselbe Höhe des aufsteigenden Luftstromes folgt daraus, daß, je höher sich das obere Luftmeer erhebt, um so langsamer, je tiefer es sich senkt, um so schneller Luft aus demselben in die unteren Circulationen gelangen muß¹⁾.

Der aufsteigende Luftstrom einer rückläufigen Circulation (über *b* Fig. 8, Taf. III) ebenso das ruhige Herabsinken der Luft aus dem oberen Luftmeer in den absteigenden Strom derselben, wie der in Fig. 8 dargestellte Versuch es zeigt, lassen sich nicht selten im Sommer am Himmel sehr deutlich erkennen an der eigenthümlichen Form der Niederschläge.

Ist z. B. in SW eine rückläufige Circulation, befindet sich also der Beobachter etwa in *f* (Fig. 8, Taf. III), so sieht derselbe von der genannten Circulation den aufsteigenden Luftstrom (über *b*) als ein über dem südwestlichen Horizonte mehr oder weniger hervorragendes durch *cumuli* gebildetes Wolkengebirge (Fig. 13, Taf. III zeigt die Vorderansicht). Darüber schwebt eine Schicht *cirrostratus*, der sich über einen Theil des Himmels in Gestalt feiner Streifen *cdg* (Fig. 13, Taf. III) verlängert, die wegen der Perspective nur seitwärts hakenförmige Biegungen zeigen (Windhaken), in der Mitte sich der geraden Linie nähern. Die oberen Fasern derselben *cd* (Fig. 8 und 13, Taf. III) gehen in der Richtung des oberen Luftmeeres schräg abwärts, die unteren Fasern *dg* (Fig. 8 und 13) in der Richtung des unteren Luftmeeres ebenfalls schräg abwärts. Am schönsten sieht man diese Wolkenbildungen unter den angegebenen Umständen an ruhigen Sommermorgen oder Abenden bei herrschenden nördlichen Winden.

Um von dem Einfluß, den die Erdrotation auf den

1) Vergl. Pogg. Ann. Bd. 100, S. 108.

aufsteigenden Luftstrom ausübt, eine Anschauung zu gewinnen, dient der nun zu beschreibende Versuch.

Eine flache Glastrommel von etwa 1' Durchmesser und 2" Höhe (Fig. 11, Taf. III zeigt den Grundriss, Fig. 12 den Durchschnitt; eine runde Glasscheibe *a* bildet die Deckplatte, ein Ring von Pappe *b* die senkrechte Wand der Trommel, eine runde Glasscheibe, etwas gröfser als die Deckplatte, den Boden), wird auf einen kleinen Teller *c* (Fig. 12) gelegt, der sich um die verticale Axe *d* drehen läfst. Erhitzt man nun die Bodenplatte an irgend einer Stelle, welche, damit man sie nicht aus dem Auge verliere, vorher gezeichnet ist, dreht die Trommel langsam aber gleichförmig in der Richtung des Pfeils von W nach O herum und bläst demnächst durch ein in der Pappwand befindliches Loch *e* (Fig. 12) langsam Rauch in die sich drehende Trommel, so entsteht bald in der Nähe der gezeichneten Stelle, meist etwas gegen dieselbe zurückbleibend, eine Wirbelcirculation. Die von der Peripherie (von S her Fig. 11, Taf. III) zur erwärmten Stelle herbeiströmende Luft kömmt von Orten, die eine gröfsere Drehungsgeschwindigkeit haben, sie eilt, indem sie sich der erwärmten Stelle nähert, der Bodenplatte voraus; ebenso kömmt die Luft vom Centrum her aus Gegenden von geringerer Drehungsgeschwindigkeit, sie bleibt daher bei ihrer Annäherung gegen die Bodenplatte zurück. Hieraus entsteht eine wirbelnde Bewegung in der Richtung der Pfeile von W durch S und O nach N, in Folge deren die Luft sich der wärmeren Gegend in Spiralen nähert und hier ebenso in schraubenförmigen Gängen aufsteigt. In der Höhe entfernt sie sich wiederum in Spiralzügen, sinkt herab, um von neuem in derselben Weise sich dem erwärmten Orte zu nähern.

Erhitzt man einen längeren Streifen der Bodenplatte, so entstehen mehrere Wirbel besonders leicht nahe den Enden desselben. An den zwischenliegenden Stellen bilden sich alsdann breite einfach aufsteigende Luftströme ohne drehende Bewegung.

Die einmal gebildeten Wirbel bleiben nicht an der Stelle, wo sie entstanden, sie folgen vielmehr der gerade herrschenden Luftströmung. Dreht man die Trommel plötzlich etwas langsamer, so eilen sie mit der ganzen Luftmasse der erwärmten Stelle voran, dreht man plötzlich schneller, so bleiben sie zurück, bald aber zerfallen sie und neue Wirbelcirculationen bilden sich in der Nähe der erwärmten Stelle. Je größer die Erwärmung war, desto rapider die Wirbelbewegung.

Die Spindel, d. h. derjenige Theil, in welchem die Luft schraubenförmig in die Höhe steigt, hat bei diesem Versuch die Form eines Doppelkegels, sie ist unten und oben dicker, ihr mittlerer Theil dünner und oft mannigfach geschlängelt und gewunden, wie diefs bei Wind- und Wasserhosen häufig bemerkt worden ist.

In ähnlicher Weise müssen auch in der Natur größere und kleinere Wirbelstürme erzeugt werden können. Wird also z. B. in einiger Entfernung vom Aequator eine Insel im Meere von der tropischen Sonne stark erhitzt, so nähert sich die Luft von allen Seiten her in Spiralen, um so vollkommener, je ungestörter und gleichmäßiger diefs Zuströmen geschehen kann, am vollkommensten also dann, wenn vorher eine weit verbreitete Windstille in dieser Gegend herrschte. Hat sich einmal ein Wirbelsturm gebildet, so wird er mit dem herrschenden Winde fortziehen und an Orte gelangen, deren Temperatur gar nicht so hoch ist, als dafs dort für sich ein Wirbelsturm hätte erzeugt werden können. Am Aequator selbst ist der Unterschied der Drehungsgeschwindigkeit für die nördlich und südlich von der erwärmten Stelle gelegenen Orte verschwindend klein, in hohen Breiten ist die Erwärmung wegen der schräger fallenden Sonnenstrahlen geringer, zwischen beiden Regionen werden daher die Inselreichen Meere in den Gegenden der Wendekreise von den heftigsten Tornado's heimgesucht.

Der Erfahrung zufolge und dem Versuche entsprechend, ist der Sturm bei dergleichen Tornados auf der dem Aequa-

tor zugewandten Seite gleichläufig mit der Bewegung des letzteren; auf der nördlichen Halbkugel bewegt sich also bei ihnen die Luft von S durch O N und W, auf der südlichen umgekehrt.

Wie der gerade, so erzeugt auch der wirbelnd über *c* (Fig. 4, Taf. III) aufsteigende Luftstrom eine über *gc* rückläufige Circulation, wie man dieß sieht, wenn man bei dem in Fig. 4 dargestellten Versuch den Glaskasten auf die Scheibe (*c* Fig. 12) setzt und langsam herumdreht. Die bei *b* (Fig. 4) herabsinkende Luft nähert sich, nachdem der aufsteigende Luftstrom sich zu einem Wirbel geformt, unten angelangt spiralförmig über *d* hinweg zur erwärmten Stelle und nimmt demnächst Theil an dem Wirbel. Oben wird derselbe zerstört, aber von unten her immer wieder neu gebildet. Auf solche Weise können daher auch in der Natur wirbelnd aufsteigende Luftströme unter den in S. 249 angegebenen Umständen in der Richtung des Aequatorialstromes oder ihr sich nähernd, fortziehen, indem ihnen der durch die Luft aus dem oberen Luftmeer verstärkte absteigende Luftstrom folgt.

Durch die Centrifugalkraft der wirbelnden Luft entsteht im Innern des Wirbels ein luftverdünnter Raum. Je näher der Spindel, um so tiefer sinkt das Barometer. Beim Versuch kann man aber eine Reihe hieraus hervorgehender eigenthümlicher Erscheinungen beobachten, am besten, wenn man einen Wirbel in dem letzterwähnten sich drehenden Glaskasten erzeugt. Man sieht nämlich nicht selten beim Entstehen desselben, wie in seinen inneren verdünnten Raum Luft von oben nach unten hineingesogen wird. Dieß Hineindringen geschieht, wie es der einfach aufsteigende Luftstrom zeigt, ebenfalls in Form einer nach unten gerichteten Garbe mit unten umgebogenen in sich zurücklaufenden Rändern. An der Stelle, wo die nach aufsen tretenden Ränder *ab* (Fig. 14, 15) sich befinden, verdickt sich die Spindel *c* und ihre wirbelnde Bewegung wird langsamer und verworrener. Mit der Zeit zerfallen die Rollen, der ganze Kopf des Wirbels *ab* zer-

streut sich, und eine schlanke schnell sich drehende Spindel entsteht von Neuem; nach einiger Zeit wiederholt sich dann der eben beschriebene Proceß. Hiernach können sich innerhalb der Wirbelstürme durch die Rollenbewegungen der von oben hineingesogenen Luft, Hagelwetter etc., bilden, in der Gegend von *ab* (Fig. 15).

Die im Vorhergehenden erwähnten meteorologischen Vorgänge entstehen, so weit sie Producte des aufsteigenden Luftstromes sind, naturgemäfs über relativ wärmeren Gegenden der Erdoberfläche. In der Nähe des Aequators am grofsartigsten und häufigsten, werden sie unbedeutender und seltener, je mehr man sich dem Pole nähert. Im Winter bilden sie sich leichter in der Nähe des wärmeren Meeres oder über demselben, im Sommer leichter über dem wärmeren Lande. Dem entsprechend werden z. B. Wintergewitter mit Hagel oder Graupeln verhältnismäfsig häufiger in dem westlichen dem atlantischen Meere zugewandten Theile Europas beobachtet, Sommergewitter dagegen häufiger in den östlichen dem asiatischen Continent näher gelegenen Gegenden ¹⁾.

1) S. Kämtz Meteorologie Bd. 2, S. 460 u. 510.

Berichtigung: Bd. 100, S. 599 Z. 3 v. o. l. 334^{'''},5 statt 324^{'''},5.

V. Ueber das Erlöschen der Schallschwingungen in heteorgenen Flüssigkeiten.

Die bekannte Erfahrung, daß Trinkgläser, die mit Champagner-Wein oder einer anderen aufschäumenden Flüssigkeit gefüllt sind, beim Anstoßen nicht klingen, so lange die Gasentwicklung anhält, hat Hrn. Ernst Baudrimont zu einer Reihe von Versuchen veranlaßt, welche die Ansicht bestätigen, als Grund der Erscheinung die Heteorgenität der Flüssigkeit zu betrachten, welche die regelmässige Verbreitung der Schallwellen hindert. So fand er, daß ein mit fettem Oel gefülltes Glas ziemlich eben so gut erklingt wie ein mit reinem Wasser gefülltes, daß aber der Klang sehr bedeutend geschwächt wird, so wie man statt dieser Flüssigkeiten ein durch Schütteln hergestelltes Gemeng von beiden anwendet. Ein mit Gallerte oder Stärkekleister gefülltes Glas gab ebenfalls einen durchaus matten Ton. Auch starre pulverartige Körper, z. B. Kreide, in Wasser eingerührt, vernichten den Klang. Es stand zu erwarten, daß die Dampfblasen des siedenden Wassers ebenso wirken würden, allein der Versuch gab kein entscheidendes Resultat.

Dagegen überzeugte er sich, daß die bekanntlich so hell tönenden Schwingungen, welche man erhält, wenn man den Rand eines Glases mit feuchtem Finger streicht, durch eine aufschäumende Flüssigkeit nicht unterdrückt werden (*Compt. rend. T. 45, p. 258*).

V. Ueber die Margarinsäure; von W. Heintz.

In meinen Arbeiten über die natürlichen Fette habe ich ¹⁾ dargethan, daß die fette Säure, welche man aus natürlichen Fetten gewonnen und Margarinsäure genannt hatte, ein Gemisch von Palmitinsäure und Stearinsäure ist, daß eine Margarinsäure, d. h. eine Säure von der Formel $C^{34}H^{34}O^4$ aus natürlichen Fetten nicht erhalten werden kann. Aus diesen Untersuchungen geht ferner hervor, daß bei Verseifung natürlicher Fette überhaupt keine feste Säure der Fettsäurereihe gebildet wird, deren Kohlenstoffatomanzahl nicht durch 4 theilbar wäre. In einem später im Jahre 1855 publicirten Aufsatz ²⁾, worin ich in gedrängter Kürze die Resultate meiner sämtlichen Untersuchungen über die Fette zusammengefaßt habe, sage ich jedoch ausdrücklich, daß damit die Nichtexistenz solcher Säuren durchaus nicht erwiesen wäre, daß ich vielmehr selbst Versuche anzustellen beabsichtigte, auf künstlichem Wege ein Glied oder mehrere Glieder der Fettsäurereihe zu erzeugen, deren Kohlenstoffatom durch vier nicht theilbar ist. Namentlich war es mir darum zu thun, die Margarinsäure $C^{34}H^{34}O^4$ künstlich darzustellen.

Selbst durch anderweitige Arbeiten behindert, veranlaßte ich Hrn. Stud. med. Köhler, Versuche in dieser Richtung anzustellen. Die Resultate dieser Versuche, die freilich noch sehr unvollkommen blieben, finden sich in dem vorjährigen April und Maiheft der Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften (Bd. 7, S. 352 bis 360) abgedruckt.

Die Idee, welche diesen Versuchen zu Grunde lag, war die, zunächst die Cyanverbindung des Cetyls zu erzeugen,

1) Diese Annalen Bd. 87, S. 573 u. folg.*, Bd. 90, S. 139 u. folg.* u. andere.

2) Journ. f. pract. Chem. Bd. 66, S. 48*.

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

und diese durch Kalihydrat in Ammoniak und margarinsaures Kali zu verwandeln gemäß der Formel $(C^{32}H^{33} + C^2N) + KO + 3HO = (C^{34}H^{33}O^3 + KO) + NH^3$. Es wurde zu dem Ende zunächst cetyloxydschwefelsaures Kali dargestellt, und dieses mit Cyankalium bis 140° lange Zeit erhitzt. Die erhaltene Masse wurde mit Aether extrahirt und in dem Aether die Gegenwart zweier fester Substanzen nachgewiesen, einer mit Kalihydrat Ammoniak entwickelnden und in eine Seife sich verwandelnden, und einer anderen dadurch nicht verseifbaren. Hr. Köhler hielt den ersteren für das unreine Cyancetyl. Spätere Versuche haben mich jedoch überzeugt, daß darin nur sehr wenig Cyancetyl enthalten war, dagegen eine große Menge der schon fertig gebildeten Säure. Diese war dadurch entstanden, daß das Cyankalium, welches Hr. Köhler zu seinen Versuchen verwendete, reichlicher Kalihydrat enthielt, als dieser es nach seinen Versuchen glaubte. Daher rührte denn auch die reichliche Ammoniakentwicklung, welche er bei Einwirkung des cetyloxydschwefelsauren Kalis auf Cyankalium bemerkte. Das gebildete Cyancetyl wurde durch das Kalihydrat sofort in margarinsaures Kali und Ammoniak verwandelt. Leider erhielt Hr. Köhler nicht so viel der festen Säure, die außerdem immer noch ein Gemisch seyn konnte von Margarinsäure mit dem 38 Atome Kohlenstoff enthaltenden Gliede der Fettsäurereihe, um eine genauere Untersuchung derselben auszuführen. Denn das zur Darstellung des cetyloxydschwefelsauren Kalis angewendete Aethylal war zwar durch Umkrystallisiren von dem Lethyl (Lethyl- oder Laurylalkohol) und dem Methyl (Methyl- oder Myristylalkohol) befreit, enthielt aber neben seinem Hauptbestandtheil, dem eigentlichen Aethyl (Aethyl-, Cetyl- oder Palmitylalkohol), entschieden noch Stethyl (Stethyl- oder Stearylalkohol). Es mußte sich also auch stethylschwefelsaures Kali, ferner Cyanstethyl und endlich die 38 Atome Kohlenstoff enthaltende Säure neben cetyloxydschwefelsaurem Kali, Cyancetyl und Margarinsäure bilden.

Weil es nun Hrn. Köhler nicht vergönnt war, die mit großer Ausdauer begonnene Arbeit durch fernere Versuche zu vervollständigen, so unternahm ich die Fortsetzung derselben selbst, womit ich seit dem Herbst vorigen Jahres beschäftigt bin.

Als ich mit derselben so weit gediehen war, daß mir eine zu den Analysen mehr als genügende Quantität reiner Margarinsäure zu Gebote stand, kam mir die Arbeit von Becker ¹⁾ zu Gesicht, welche unter Limpricht's Leitung ausgeführt worden ist, und welche denselben Gegenstand behandelt. Dieser ist von derselben Idee ausgegangen, die mich schon ein Jahr früher angetrieben hatte, Hrn. Köhler zu den oben erwähnten Versuchen zu veranlassen. Die Ausführung geschah in einer etwas anderen Weise, einer Weise die der ganz analog war, welche ich indessen auch schon eingeschlagen, aber wieder aufgegeben hatte, weil ich keinen günstigen Erfolg sah. Becker hat nämlich nicht das cetyloxydschwefelsaure Kali zum Ausgangspunkt gewählt, sondern das Jodcetyl, welches er vergeblich durch Cyansilber oder Cyanquecksilber in Jodmetall und Cyancetyl überzuführen suchte, und das er deshalb endlich mit einer weingeistigen Cyankaliumlösung anhaltend kochte, um diesen Zweck zu erreichen. Der Körper, welchen er auf diese Weise gewann, war in Aether löslich und enthielt gewiß Cyancetyl, denn er war reich an Stickstoff. Außerdem hatte sich aber schon eine fette Säure gebildet, die von dem Cyancetyl vollkommen zu trennen Becker nicht gelang. Die Entstehung dieser Säure ist einfach dadurch bedingt, daß das angewandte Cyankalium nicht frei von Kalihydrat gewesen war. Weil das gewonnene Cyancetyl noch Margarinsäure enthielt, so fand sich auch bei der Analyse dieses Körpers ein Gehalt von 3 bis 4 Proc. Sauerstoff. Allerdings müssen noch andere stickstoffhaltige Verbindungen zugegen gewesen seyn. Denn nähme man an, der untersuchte Körper habe nur Cyancetyl ($C^{34}H^{33}N$) und Margarinsäure ($C^{34}H^{34}O^4$) ent-

1) Ann. der Chem. und Pharm. Bd. 102, S. 209.*

halten, so würde aus dem Sauerstoffgehalt sich ein Gehalt desselben von 28,7 Proc. Margarinsäure ergeben und dann dürften 100 Theile des Gemischs nur 3,6 Proc. Stickstoff gegeben haben, während im Mittel 5,5 Proc. gefunden wurden.

Durch diese Verunreinigung mögen denn die ferneren Resultate der Untersuchung von Becker in Betreff der durch Kalihydrat aus dem Cyancetyl gebildeten Margarinsäure bedingt gewesen seyn, welche von den durch mich erhaltenen gänzlich abweichen. Seine Margarinsäure schmolz nämlich bei 52° bis 53° C., während die reine Margarinsäure, wie ich weiter unten beweisen werde, bei 59°,9 C. flüssig wird. Diese Abweichung läßt sich schwerlich dadurch erklären, daß die von Becker gewonnene Säure ein Gemisch der vier Säuren gewesen sey, welche aus den vier nach meinen Untersuchungen im Aethyl enthaltenen Alkoholen durch Umwandlung in die Cyanverbindung und Kochen dieser mit Kalihydrat entstehen müssen. Denn trotz der mehrfachen partiellen Fällungen, welche Becker vorgenommen hat, gelang es ihm nicht jemals Säureportionen abzuscheiden, welche einen höheren Schmelzpunkt als 53° C. und einen niedrigeren als 49° C. besaßen, während der niedrigste Schmelzpunkt, welchen ich an Säureportionen beobachtete, die ich aus der von mir dargestellten rohen Margarinsäure durch partielle Fällung und Umkrystallisiren gewann, 52°,7 C. der höchste 66°,2 C. war. Allerdings hatte ich das von mir als Ausgangspunkt der Untersuchung henutzte Aethyl, um die beiden an Kohlenstoff ärmeren Alkohole zu entfernen, mehrfach aus Alkohol umkrystallisirt, also die Bildung der Säure der Fettsäurereihe mit 26 und 30 Atome Kohlenstoff vermieden. Diefß scheint Becker nicht vorgesehen zu haben, wie er auch unterlassen hat zu versuchen, die durch partielle Fällung nicht mehr in Portionen von verschiedenen Schmelzpunkt trennbare Säure durch Umkrystallisiren zu reinigen, wodurch ihr Schmelzpunkt möglicherweise bedeutend hätte gesteigert werden können.

In dem Folgenden will ich nun meine Versuche beschreiben, welche ich zur Darstellung einer 34 Atome Kohlenstoff enthaltenden Säure der Fettsäurereihe angestellt habe.

Da ich aus den Versuchen des Hrn. Köhler wufste, dafs die Darstellung des Cyancetyls aus cetylschwefelsaurem Kali grofse Schwierigkeiten hat, und dafs namentlich von dem angewendeten Aethal nur eine geringe Menge in Cyancetyl oder die daraus durch Kali entstehende Säure umgewandelt wird, so versuchte ich Chlorcetyl durch Cyanmetalle zu zersetzen.

Zur Gewinnung des Chlorcetyls untersuchte ich zuerst das Verhalten des Aethals gegen Chlorwasserstoffgas. Sowohl beim Einleiten dieses Gases in das geschmolzene Aethal, als in eine Lösung desselben in absolutem Alkohol beobachtete ich eine zu geringe Verminderung des Schmelzpunkts dieses Körpers, als dafs, da das Chlorcetyl bei gewöhnlicher Temperatur flüssig ist, dieses in bedeutender Menge hätte gebildet seyn können.

Auch durch Einwirkung von Chlorwasserstoff im Entstehungsmomente auf Aethal, bildete sich diese Verbindung nicht. Ich mischte zu dem Ende im Wasserbade geschmolzenes Aethal mit einem starken Ueberschufs von Kochsalz und fügte allmählich jedoch nur so viel concentrirte Schwefelsäure hinzu, dafs nur ein kleiner Theil des Kochsalzes zersetzt werden konnte. Nach beendeter Reaction wurde die Masse mit Aether ausgekocht, wobei, wie zu erwarten war, Chlornatrium und schwefelsaures Natron zurückblieb. Die Lösung wurde abdestillirt, und der Rückstand mit absolutem Alkohol gekocht. Es blieb ein flüssiger Körper ungelöst, der beim Erkalten erstarrte. Die alkoholische Flüssigkeit enthielt nur eine geringe Menge wahrscheinlich derselben Substanz, die sich im Alkohol nicht gelöst hatte.

Dafs sich Chlorcetyl nicht gebildet hatte, geht aus diesen Versuchen hervor. Ich habe jedoch den erzeugten Stoff durch Umkrystallisiren aus einer Mischung von Al-

kohol und Aether unter gleichzeitiger Anwendung von Thierkohle zu reinigen gesucht. Dabei erhöhte sich der Schmelzpunkt fortdauernd, jedoch jedesmal nur sehr unbedeutend. Nach 13maligem Umkrystallisiren war derselbe von $47^{\circ},9$ C. bis auf $55^{\circ},7$ C. gestiegen. Danach war die Menge der übrig gebliebenen Substanz so gering geworden, dafs weitere Versuche unmöglich waren, eine reine Substanz zu gewinnen. Auch eine Analyse war nicht mehr möglich. Ich sammelte daher die in den letzten ätherischen Lösungen gelöst gebliebene Substanz, und analysirte sie, nachdem ich ihren Schmelzpunkt zu $53^{\circ},1$ C. festgestellt hatte.

0,1802 Grm. dieses Körpers lieferten 0,5368 Grm. Kohlensäure und 0,2220 Grm. Wasser, entsprechend 0,1464 Grm. oder 81,24 Proc. Kohlenstoff und 0,0248 Grm. oder 13,75 Proc. Wasserstoff.

Kohlenstoff	81,24
Wasserstoff	13,75
Sauerstoff	5,01
	<hr/> 100.

Da dieser Körper nicht rein war, so ist es werthlos dafür eine Formel aufzusuchen. Doch hat er fast genau dieselbe Zusammensetzung, wie der Körper, welcher, wie weiter unten gezeigt werden wird, bei Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf im Wasserbade schmelzendes Aethyl entsteht, und der wahrscheinlich ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitinaldehyd ist.

Da es nicht gelungen war, nach einer der beschriebenen Methode Chlorcetyl zu erhalten, so bediente ich mich zur Darstellung desselben der von Dumas ¹⁾ angegebenen Methode. Ich mischte in einer Retorte zu 112 Grm. Phosphorsuperchlorid eben so viel Aethyl, wobei ersteres allmählich an Masse abnahm und die Mischung sich verflüssigte, und eine reichliche Chlorwasserstoffentwicklung stattfand. Indessen blieb doch so viel Phosphorsuperchlo-

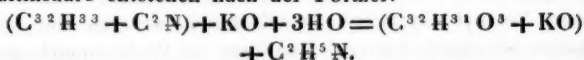
1) *Ann. de Chim. et de Phys.* T. 62, p. 4 und *Journ. f. pract. Chem.* Bd. 9, S. 293.

rid unverändert, daß ich noch 20 Grm. Aethyl hinzugeben konnte. Nach vollendeter Reaction wurde die Mischung der Destillation unterworfen, wobei zuerst eine reichliche Menge Phosphoroxychlorid zuletzt das Chlorcetyl übergang. Zur Reinigung desselben wurde es noch einmal mit Phosphorsuperchlorid auf dieselbe Weise behandelt, dann mit Wasser gewaschen und getrocknet.

Von diesem Chlorcetyl mischte ich 92 Grm. mit 32 Grm. durch Einleiten von Blausäure in eine concentrirte alkoholische Kalilösung, Auspressen und Trocknen des Niederschlags unter der Luftpumpe gewonnenen Cyankaliums und erhitzte die Mischung längere Zeit ohne eine Einwirkung zu bemerken. Der ölige Körper enthielt keine Spur Stickstoff, den ich darin nach der gewöhnlichen Methode mittelst Natronkalk vergeblich zu entdecken suchte. Auch bei anhaltendem Kochen dieser Mischung bildete sich kein Cyancetyl, wogegen eine langsame Ammoniakentwicklung bemerkt werden konnte. Das Chlorcetyl hatte sich aber, freilich nur zum kleinen Theil, verändert. Denn bei etwas über 0° C. setzte sich daraus eine geringe Menge einer festen Substanz ab, die aber ebenso wenig als der flüssig gebliebene Theil stickstoffhaltig war. Da also auch dieser Versuch Cyancetyl zu erhalten mißlungen war, so mischte ich das Chlorcetyl, nachdem ein Probeversuch gezeigt hatte, daß auch Cyanquecksilber keine Einwirkung auf Chlorcetyl hat, mit einem gleichen Gewicht Cyansilber und erhitzte diese Mischung, welche in eine starke sorgfältig mit einem Glasstöpsel geschlossene und fest verbundene Flasche gebracht worden war, 52 Stunden in einem papinischen Topfe. Die erhaltene Masse wurde mit Aether extrahirt, der Aether abdestillirt und der nun geringe Mengen Stickstoff enthaltende Rückstand mit einer alkoholischen Lösung von Kalihydrat anhaltend gekocht, wobei unter schwacher Ammoniakentwicklung die Mischung bis fast zur Trockne gebracht wurde. Durch Kochen mit Salzsäure wurde die Kaliverbindung zersetzt, die gewonnene fette Masse ward in kochendem Alkohol gelöst, die Lö-

sung mit essigsaurem Silberoxyd gefällt, der gewaschene Niederschlag mit Aether ausgekocht und endlich das Bleisalz durch kochende verdünnte Salzsäure zersetzt. Die gewonnene fettähnliche Substanz ward dann noch einmal mit Hülfe von Ammoniakflüssigkeit und Chlorbaryum in das Barytsalz verwandelt, das zuerst mit Wasser ausgewaschen, dann mit Aether ausgekocht wurde, bis dieser nichts Lösliches mehr aufnahm. Nach Zersetzung des reinen Barytsalzes durch kochende verdünnte Salzsäure erhielt ich endlich eine nur geringe Menge einer fetten Säure, deren Schmelzpunkt bei $52^{\circ},7$ C. lag. Ihre Menge war viel zu gering um weitere Versuche damit anzustellen.

Das bei diesem Versuch entwickelte Ammoniak war in Salzsäure aufgefangen worden. Die Lösung wurde zur Trockne gebracht und der Rückstand mit absolutem Alkohol extrahirt. Die Lösung ward mit Aether gemischt, der dadurch erhaltene Niederschlag abfiltrirt und zum Filtrat Platinchlorid hinzugesetzt. Der dadurch erhaltene Niederschlag wurde auf seinen Platingehalt untersucht, um zu ermitteln, ob nicht etwa neben Ammoniak Methylamin entwickelt wurde. Dann mußte aus dem Cyancetyl auch Palmitinsäure entstehen nach der Formel:



0,5017 Grm. dieser Platinverbindung lieferten beim Glühen 0,2210 Grm., d. h. 44,05 Proc. Platin. Nach der Rechnung enthält das Ammoniumplatinchlorid 44,21 Platin, wogegen in dem Methylammoniumplatinchlorid nur 41,60 Proc. Platin enthalten sind. Hiernach war das entwickelte Ammoniak rein und enthielt kein Methylamin. Folglich durfte ich ferner schliessen, daß bei Zersetzung des Cyancetyls durch Kalihydrat nichts einer fetten Säure entstehen könne, deren Kohlenstoffatomanzahl durch vier theilbar ist.

Da auch dieser Versuch zu keinem günstigen Resultat geführt hatte, so kehrte ich zu der schon von Hrn. Köhler benutzten Methode der Darstellung des Cyancetyls zurück.

Zur Gewinnung des cetyloydschwefelsauren Kalis erhitze ich Aethyl mit der Hälfte seines Gewichtes Schwefelsäurehydrat längere Zeit im Wasserbade theils an der Luft, theils in einem hermetisch verschlossenen Gefäße, also vor dem Sauerstoff geschützt. In beiden Fällen wurde eine merkliche Entwicklung von schwefliger Säure beobachtet. Die Mischung färbte sich dunkelbraun, und eine merkliche Menge cetyloxydschwefelsauren Kalis konnte aus der Mischung nicht gewonnen werden. Als nämlich diese Masse mit Alkohol gekocht wurde, löste sich dieselbe nicht auf, sondern es blieb eine flüssige in der Kälte festwerdende Substanz ungelöst. In der Flüssigkeit fand sich nur eine unbedeutende Menge organischer Substanz. Sie hätte die Cetyloxydschwefelsäure enthalten müssen. Die darin nicht lösliche Substanz wurde acht Mal aus Aether umkrystallisiert, wobei gleichzeitig durch Anwendung von Thierkohle ihre Entfärbung bewirkt wurde.

Die so gewonnene Substanz war immer noch nicht rein, denn ihr Schmelzpunkt war bei jedesmaligem Umkrystallisiren, wenn auch nur unbedeutend erhöht worden. Nach vollendeter Analyse überzeugte ich mich in der That, daß derselbe noch weiter erhöht werden konnte.

Die Analysen dieses bei $53^{\circ},4$ C. schmelzenden Körpers ergaben folgende Zahlen:

I. 0,2246 Grm. desselben lieferten 0,6689 Grm. Kohlensäure und 0,2814 Grm. Wasser, entsprechend 0,18243 Grm. oder 81,22 Proc. Kohlenstoff, und 0,03127 Grm. oder 13,92 Proc. Wasserstoff.

II. 0,2626 Grm. derselben Substanz gaben 0,7844 Grm. Kohlensäure und 0,3263 Grm. Wasser. Diefes entspricht 0,21393 Grm. oder 81,46 Proc. und 0,03626 Grm. oder 13,81 Proc. Wasserstoff.

III. Aus 0,8109 Grm. erhielt ich 0,9288 Grm. Kohlensäure und 0,3861 Grm. Wasser, entsprechend 0,25331 Grm. oder 81,45 Proc. Kohlenstoff und 0,0429 Grm. oder 13,80 Proc. Wasserstoff.

IV. 0,2722 Grm. lieferten 0,812 Grm. Kohlensäure

und 0,3363 Grm. Wasser, woraus sich ergeben 0,22145 Grm. oder 81,31 Proc. Kohlenstoff und 0,03737 Grm. oder 13,73 Proc. Wasserstoff.

V. 0,2227 nicht bei höherer Temperatur, sondern nur unter der Luftpumpe getrockneter Substanz gaben 0,6662 Grm. Kohlensäure und 0,2792 Grm. Wasser. Dies entspricht 0,18169 Grm. oder 81,51 Proc. Kohlenstoff und 0,03102 Grm. oder 13,91 Proc. Wasserstoff.

Hieraus folgt folgende Zusammensetzung:

	I	II	III	IV	V	Mittel	berech.	
Kohlenstoff	81,22	81,46	81,45	81,36	81,51	81,40	81,42	46C
Wasserstoff	13,92	13,81	13,80	13,73	13,93	13,84	13,86	47H
Sauerstoff	4,86	4,73	4,75	4,91	4,56	4,76	4,72	2O
	100	100	100	100	100	100	100	

Die Formel $C^{46}H^{47}O^2$ ist nichts weniger als wahrscheinlich. Dafs der analysirte Körper obige Zusammensetzung besafs, spricht vielmehr dafür, dafs derselbe keine reine Substanz war, was sich denn durch Erhöhung des Schmelzpunktes bei fernerm Umkrystallisiren zur Evidenz ergab.

Fragt man, welche Substanzen aus dem Cetylalkohol sich unter dem Einflufs der heißen concentrirten Schwefelsäure bilden können, so liegt wohl die Bildung des Cetyläthers am nächsten. Da sich bei jener Einwirkung aber schweflige Säure entwickelt hatte, so mufs eine Oxydation eingeleitet seyn und dadurch mufs aus dem Aethyl zunächst Palmitylaldehyd gebildet werden. Diese beiden Körper sind bekannt. Nach Fridau¹⁾ sind beide Körper fest, schwer in Alkohol, leicht in kochendem Aether löslich. Jener schmilzt bei 55°, dieser bei 52° C. Die von mir untersuchte Substanz schmolz bei 53°,4 C. und besafs die übrigen von Fridau angegebenen Eigenschaften dieser beiden Körper. Nimmt man an, dieselbe habe aus einem Gemisch der beiden genannten Körper bestanden, und zwar in dem Verhältnifs von 1 Atom Palmitylaldehyd und 2 Atomen

1) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 83, S. 22 u. 23.*

Cetyloxyd, so hätte die Zusammensetzung desselben gewesen seyn müssen:

	berechnet		gef. i. Mittel
Kohlenstoff	81,59	96 C	81,40
Wasserstoff	13,88	98 H	13,84
Sauerstoff	4,53	4 O	4,76
	<u>100</u>		<u>100</u>

Es ist mir bis jetzt nicht möglich gewesen, die Vermuthung, daß diese Substanz wirklich ein solches Gemenge dieser beiden Körper sey, zur Gewißheit zu erheben.

Die ähnliche Substanz, welche unter dem Einfluß von Schwefelsäure bei Gegenwart überschüssigen Chlornatriums erzeugt worden war, hat nahezu dieselbe Zusammensetzung. Auch sie ist daher wahrscheinlich ein Gemisch von Cetyläther mit dem Palmitylaldehyd.

Dieser fehlgeschlagene Versuch der Darstellung des cetyloxydschwefelsauren Kalis führte mich naturgemäfs dazu, bei einer Wiederholung desselben die Temperatur möglichst niedrig zu erhalten, und die Einwirkung möglichst bald zu unterbrechen. Deshalb mischte ich nur eben bis zur Schmelzung erhitztes Aethyl mit kalter concentrirter Schwefelsäure. Hierbei fand eine geringe Temperaturerhöhung statt, und es entwickelte sich eine Spur schwefliger Säure. Die Mischung wurde bald in eine große Menge warmen Alkohols gebracht, dann mit Kalihydratlösung gesättigt und die Mischung bis zum Kochen erhitzt, worauf sie kochend heiß filtrirt wurde. Das Filtrat erstarrte vollkommen. Die feste Masse wurde von der Flüssigkeit durch Pressen befreit und durch Auskochen mit Aether von allen darin löslichen Stoffen (unverändertes Aethyl, Cetyläther, Palmitylaldehyd) befreit, worauf das gewonnene Salz endlich aus Alkohol umkrystallisirt ward. Die Ausbeute war eine ziemlich reichliche.

I. 0,5504 Grm. dieses Salzes im Platintiegel mit der nöthigen Vorsicht verbrannt hinterliefsen 0,1310 Grm. neutralen schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,0708 Grm. oder

12,86 Proc. Kali. Das cetyloxydschwefelsaure Kali enthält nach der Theorie 13,09 Proc. Kali.

II. 0,5999 des nochmals mit Aether extrahirten Salzes lieferten 0,1426 Grm. schwefelsauren Kalis. Diefs entspricht 0,0771 Grm. oder 12,85 Proc. Kali.

III. Aus 0,6353 Grm. desselben wurden 0,1525 Grm. schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,0819 Grm. oder 12,89 Proc. Kali erhalten.

IV. 0,450 Grm. des Salzes lieferten 0,1079 Grm. schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,0583 Grm. oder 12,96 Proc. Kali.

V. Aus 1,0857 Grm. desselben erhielt ich 0,2615 Grm. schwefelsauren Kalis, entsprechend 0,1414 Grm. oder 13,02 Proc. Kali.

VI. Bei der Elementaranalyse, welche im Sauerstoffstrom und mit Hülfe eines Gemisches von Kupferoxyd und Bleioxyd ausgeführt wurde, erhielt ich aus 0,3675 Grm. des Salzes 0,7168 Grm. Kohlensäure und 0,302 Grm. Wasser. Im Schiffchen blieb ein Rückstand von 0,0883 Grm. Derselbe reagirte weder sauer noch alkalisch und entwickelte beim Uebergießen mit Chlorwasserstoff kein Schwefelwasserstoffgas, war daher abgesehen von 0,0002 Grm. Kohle, die darin enthalten waren, reines neutrales schwefelsaures Kali. Daraus folgt, dafs in dem Salze enthalten waren 0,1957 Grm. oder 53,26 Proc. Kohlenstoff, 0,03356 Grm. oder 9,13 Proc. Wasserstoff, 0,0476 Grm. oder 12,95 Proc. Kali, und bei der Annahme, dafs noch einmal so viel Schwefelsäure als im gewonnenen schwefelsauren Kali enthalten sey 0,0810 Grm. oder 21,99 Proc. Schwefelsäure.

VII. 0,3466 Grm. desselben Salzes lieferten 0,6556 Grm. Kohlensäure, 0,2770 Grm. Wasser und 0,0806 Grm. schwefelsauren Kalis, das vollkommen rein war, und nur eine unwägbare Spur Kohle enthielt. Hiernach enthielt das Salz 0,1788 Grm. oder 53,12 Proc. Kohlenstoff, 0,03078 Grm. oder 9,14 Proc. Wasserstoff, 0,04356 Grm. oder 12,93 Proc. Kali, 0,07408 Grm. oder 22,01 Proc. Schwefelsäure.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	berech.
Kohlenstoff	—	—	—	—	—	53,26	53,12	53,32 32C
Wasserstoff	—	—	—	—	—	9,13	9,14	9,16 33H
Sauerstoff	—	—	—	—	—	2,67	2,80	2,22 1O
Schwefelsäure	—	—	—	—	—	21,99	22,01	22,21 2SO ³
Kali	12,86	12,85	12,89	12,96	13,02	12,95	12,93	13,09 1KO
						100	100	100

Das Salz war hiernach rein von fremden Beimengungen. Die Resultate der Analyse stimmen so genau mit der Formel des cetyloxydschwefelsauren Kalis, dafs es scheinen möchte, als könne es auch nicht durch stethyloxydschwefelsaures Kali verunreinigt seyn, dessen Formel ist $(\text{SO}^3 + \text{KO}) + (\text{SO}^3 + \text{C}^{36} \text{H}^{37} \text{O})$. Indessen war dieß dennoch der Fall, wie die fernere Untersuchung lehren wird; allein die Menge desselben war im Verhältniß zu der des cetyloxydschwefelsauren Salzes nur sehr gering. Nimmt man darin auf 10 Atome dieses ein Atom jenes Salzes an, ein Verhältniß das der Wahrheit nicht sehr fern liegen möchte, so berechnet sich folgende procentische Zusammensetzung:

Kohlenstoff	53,53
Wasserstoff	9,20
Sauerstoff	2,21
Schwefelsäure	22,06
Kali	13,00
	100

Man sieht, dafs diese Zahlen in Bezug auf die am leichtesten bestimmbaren Körper, das Kali und die Schwefelsäure, genauer mit den gefundenen stimmen, als die durch Rechnung nach der Formel des reinen cetyloxydschwefelsauren Kalis ermittelten, ohne dafs die Kohlenstoff- und Wasserstoffmenge zu sehr differirte. In Betreff des Wasserstoffs will ich bei dieser Gelegenheit erwähnen, dafs bei meinen Analysen der gefundene Wasserstoffgehalt oft nur einige Hundertel Procent geringer ist als die Rechnung verlangt. Es kommt dieß daher, dafs beide Korke in dem Verbrennungsrohr während des Austrocknens des Kupferoxyds durch Glühen im Luftstrom stets ebenfalls vollkommen getrocknet werden, so dafs sie keine Feuchtigkeit abgeben

können. Ist daher die Substanz nicht hygroskopisch, wie die fetten Säuren und wie auch das cetyloxydschwefelsaure Kali, so muß eine um ein Geringes zu kleine Menge sowohl von Wasserstoff als von Kohlenstoff gefunden werden, da der Kork, als poröse Substanz im Laufe der Analyse etwas Wasserdampf und Kohlensäure durch Diffusion austreten läßt.

Nachdem ich mich durch diese Versuche von der Reinheit des cetylschwefelsauren Kalis, so weit es aus einem Gemisch von Stethal und Aethal rein erhalten werden konnte, überzeugt hatte, schritt ich zur Darstellung des Cyancetyls. Bei einem Vorversuch mischte ich 34 Grm. des cetylschwefelsauren Salzes mit 10 Grm. durch Fällung einer Kalihydratlösung in absolutem Alkohol durch Blausäure gewonnenen Cyankaliums aufs Innigste und erhitze das Gemisch, welches in ein Kölbchen gebracht worden war, $1\frac{1}{2}$ Stunde bis auf 200° C. Ein Vorversuch hatte mich belehrt, daß cetyloxydschwefelsaures Kali, wenn es für sich erhitzt wird, zwar bei 200° C. zusammensintert, aber nur sehr unbedeutend zersetzt wird. Um die atmosphärische Luft möglichst abzuhalten, war das Kölbchen mit durchbohrtem Kork verstopft, welcher ein zweimal rechtwinklich gebogenes Rohr darauf befestigte, dessen anderes Ende in Quecksilber tauchte.

Die Mischung hatte sich dunkelbraun gefärbt und war zusammengeschmolzen. Sie war butterartig geworden. Als sie mit Aether gekocht und die braungefärbte Lösung filtrirt wurde, ging die Flüssigkeit nur sehr langsam durch das Filtrum. Da deshalb ein Auswaschen mit Aether unmöglich war, so wurde die auf dem Filtrum bleibende Masse, nachdem sie trocken geworden war, zuerst mit Alkohol befeuchtet, zerrieben und mit Wasser gemischt. Die Mischung wurde auf ein Filtrum gebracht und das in Wasser unlösliche mit diesem Lösungsmittel ausgewaschen. Das Wasser enthielt schwefelsaures Kali, Cyankalium, geringe Mengen kohlen-sauren Kalis und Spuren einer gelb gefärbten organischen Substanz, die in Alkohol löslich war. Was sich nicht in Wasser gelöst hatte, wurde mit Aether ge-

kocht und die filtrirte Lösung dem früher erhaltenen ätherischen Filtrat beigegeben.

Nachdem der Aether abdestillirt war, wurde die rückständige Masse in absolutem Alkohol gelöst. Dabei blieb eine schwarze, in Aether lösliche, stickstoffhaltige, schwer schmelzbare Masse ungelöst, die aus der ätherischen Lösung selbst durch absoluten Alkohol gefällt werden konnte, sich schwer verbrennen liefs, und wegen ihrer zu geringen Menge nicht näher untersucht werden konnte. Ihr beige-mischt war noch eine kleine Menge cetyloxydschwefelsauren Kalis.

Die alkoholische Lösung setzte beim Erkalten eine Substanz in Krystallchen ab, die unter dem Mikroskop als äußerst zarte rhombische Blättchen mit einem Winkel von ungefähr 60° erschienen, und an denen der stumpfere Winkel abgerundet war. Der Schmelzpunkt dieses Körpers lag bei 53° bis $53,3^\circ$ und konnte durch Umkrystallisiren aus der Lösung in absolutem Alkohol nicht erhöht werden, während ein Zusatz von Knochenkohle bei dieser Operation den noch bräunlich gefärbten Körper vollkommen entfärbte. Stickstoff enthielt diese Substanz nicht. Ihre Eigenschaften deuten darauf hin, dafs sie identisch mit dem Körper ist, welcher durch längere Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf Aethyl bei der Temperatur des Wasserbades entsteht, eine Vermuthung, welche die Analyse vollkommen bestätigt hat. Diese ergab folgendes:

0,1976 Grm. dieses Körpers lieferten 0,5892 Grm. Kohlensäure und 0,2454 Grm. Wasser, entsprechend 0,16069 Grm. oder 81,32 Proc. Kohlenstoff und 0,02727 Grm. oder 13,80 Proc. Wasserstoff.

Vergleicht man diese Zahlen mit dem Mittel der früher gefundenen, so ist die vollkommene Uebereinstimmung ersichtlich

	gefunden	früher gefunden im Mittel
Kohlenstoff	81,32	81,40
Wasserstoff	13,80	13,84
Sauerstoff	4,88	4,76
	<hr/> 100	<hr/> 100,

Auch dieser Körper ist als ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd zu betrachten.

Als die alkoholische Lösung, aus dem die oben beschriebene Substanz sich abgeschieden hatte, durch Destillation vom Alkohol befreit wurde, blieb eine bräunliche, flüssige, ölige Substanz zurück, die nur eine geringe Menge fester Substanz absetzte. Sie kochte erst über 300°C ., einer Temperatur, bei der eine Zersetzung unausbleiblich war. Die angestellten Versuche, das Cyancethyl rein zu erhalten, scheiterten.

Deshalb kochte ich diesen bei gewöhnlicher Temperatur dickflüssigen Körper anhaltend mit einer alkoholischen Kalilösung und verdunstete die Flüssigkeit endlich so weit, bis sich eine halb feste Masse bildete. Hierbei entwickelte sich reichlich Ammoniak. Die rückständige Salzmasse wurde mit kochender verdünnter Salzsäure zersetzt, die abgeschiedene fette Substanz in wenig Alkohol kochend gelöst und die ammoniakalisch gemachte Lösung durch Chlorbaryum gefällt. Der erhaltene mit Wasser gewaschene und gut getrocknete Niederschlag wurde mit kochendem Aether vollkommen extrahirt. Das so gereinigte Barytsalz wurde zur weiteren Untersuchung aufgehoben, zuerst aber die Aetherlösung abdestillirt und der Rückstand nochmals mit alkoholischer Kalilösung längere Zeit gekocht und eingedampft, und die ganze Salzmasse sofort mit Aether ausgekocht. Bei der Zersetzung des darin Unlöslichen durch verdünnte Salzsäure fand sich nur eine Spur einer fetten Säure. Der Rückstand bei nochmaligem Abdestilliren des Aethers war ölarartig und nur bei niedriger Temperatur fest. In Aether löste er sich und Alkohol schlug aus dieser Lösung einen festen Körper in geringer Menge nieder. Die davon abfiltrirte Flüssigkeit ward von Neuem abdestillirt und der Rückstand in absolutem Alkohol gelöst, der beim Erkalten wieder eine geringe Menge fester Substanz absetzte. Als die filtrirte Lösung mit etwas Wasser versetzt wurde, schied sich ein flüssiger Körper aus, und beim ferneren Mischen mit Wasser eine Substanz, die leicht schmelzbar war, aber

beim Erkalten gänzlich unkrystallinisch erstarrte, sich in Wasser nicht, wohl aber in Alkohol und besonders in Aether löste. Der Schmelzpunkt liefs sich nicht genau bestimmen, da die Substanz beim Erhitzen allmählich durchsichtig wurde. Jedenfalls lag er weit unter 40° C. Ein Stickstoffgehalt konnte darin nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Obgleich diese Substanz keinesweges rein seyn konnte, so unterwarf ich sie doch der Analyse, um eine Vorstellung von ihrer Elementarzusammensetzung zu erhalten.

I. 0,1993 Grm. derselben lieferten 0,5981 Grm. Kohlensäure und 0,2492 Grm. Wasser, entsprechend 0,16312 Grm. oder 81,85 Proc. Kohlenstoff, und 0,02769 Grm. oder 13,89 Proc. Wasserstoff.

II. 0,1721 Grm. gaben 0,5159 Grm. Kohlensäure und 0,2155 Grm. Wasser. Diefs entspricht 0,1407 Grm. oder 81,75 Proc. Kohlenstoff und 0,02394 Grm. oder 13,91 Proc. Wasserstoff.

	I	II
Kohlenstoff	81,85	81,75
Wasserstoff	13,89	13,91
Sauerstoff	4,26	4,34
	<hr/> 100	<hr/> 100

Die Zusammensetzung dieser Substanz ist, wie man sieht sehr nahe gleich der des Körpers, der durch Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf Aethyl im Wasserbade entsteht. Doch sind die Eigenschaften beider wesentlich abweichend.

Das oben erwähnte Barytsalz, aus dem die eben besprochenen Substanzen durch Aether ausgezogen worden waren, wurde durch Kochen mit verdünnter Salzsäure zersetzt. Die erhaltene fette Säure löste ich in einer möglichst geringen Menge verdünnten Alkohols kochend auf, fügte Ammoniak und eine Lösung von essigsaurer Magnesia hinzu. Der erhaltene Niederschlag wurde abfiltrirt, mit Wasser gewaschen und mit kochendem Aether wiederholentlich extrahirt, bis der Aether nichts mehr aufnahm. Beim Ver-

dunsten der ganzen Aethermasse blieb nur ein geringer fettähnlicher Rückstand.

Nach Zersetzung des Magnesiasalzes durch kochende verdünnte Salzsäure wurde eine bei $54^{\circ},8$ C. schmelzende Säure erhalten, deren Schmelzpunkt durch Umkrystallisiren auf $56^{\circ},5$, $57^{\circ},0$, $57^{\circ},9$, $58^{\circ},9$, $59^{\circ},9$ C. stieg. Dabei nahm sie in der krystallinischen Beschaffenheit zu, so dafs die bei $59^{\circ},9$ C. schmelzende Säure nach dem Erstarren auf der Oberfläche schuppig krystallinisch erschien. Zur weiteren Untersuchung und auch zu einer Analyse* war die Quantität dieser Säure zu gering.

Deshalb schritt ich zu einer zweiten Darstellung derselben in etwas gröfserem Maafsstabe und verwendete dazu 98 Grm. cetyloxydschwefelsauren Kalis und 35 Grm. reinen aus alkoholischer Kalilösung mittelst Blausäure erzeugten Cyankaliums. Da ich bei dem früheren Versuch aus den angewendeten 34 Grm. jenes Kalisalzes eine verhältnismäfsig nur sehr kleine Menge der Säure erhalten hatte, so rieb ich bei diesem die genannten beiden Körper aufs Innigste und Anhaltendste zusammen, nachdem ich sie mit absolutem Alkohol angefeuchtet hatte, um dadurch eine möglichst innige Mischung zu erzielen und Nebenzersetzungen möglichst zu vermeiden. Das Gemisch wurde in einen Kolben gebracht und mit denselben Vorsichtsmafsregeln, die ich schon oben beschrieben, mehrere Stunden lang bis 180 bis 200° C. erhitzt, dies Mal jedoch nicht in einem Oel, sondern in einem Luftbade.

Nach Vollendung dieser Operation wurde die Masse mit Aether, dann mit Alkohol ausgekocht. Der in beiden Lösungsmitteln nicht gelöste Rückstand enthielt neben schwefelsaurem Kali und Cyankalium nur eine geringe Menge organischer Substanz.

In der alkoholischen Lösung fand sich aufser Cyankalium auch nur eine geringe Menge organischer Substanz, welche sich beim Eindampfen derselben in Form brauner Flocken absetzte.

Die ätherische Lösung ward durch Destillation vom

Aether befreit. Es blieb ein bedeutender, fettähnlicher Rückstand, der in wenig Aether heifs gelöst wurde. Beim Erkalten schied sich daraus ein fester Körper ab, dessen Menge noch durch Zusatz von absolutem Alkohol vermehrt wurde. Nach mehrmaligem Umkrystallisiren aus Aether mit Beihülfe von Thierkohle wurde er in grossen schönen farblosen blättrigen Krystallen erhalten, die bei $55^{\circ},1$ C. schmolzen. Die Analysen dieser Substanz ergaben folgende Zahlen:

I. 0,2082 Grm. lieferten 0,6220 Grm. Kohlensäure und 0,2598 Grm. Wasser, entsprechend 0,16964 Grm. oder 81,48 Proc. Kohlenstoff und 0,02887 Grm. oder 13,87 Proc. Wasserstoff.

II. 0,2331 derselben Substanz gaben 0,6977 Grm. Kohlensäure und 0,2909 Grm. Wasser, entsprechend 0,19028 Grm. oder 81,63 Proc. Kohlenstoff und 0,03232 Grm. oder 13,87 Proc. Wasserstoff.

	I	II
Kohlenstoff	81,48	81,63
Wasserstoff	13,87	13,86
Sauerstoff	4,65	4,51
	<hr/> 100	<hr/> 100

Die Zusammensetzung dieses Körpers ist daher der ganz ähnlich, welche der bei dem ersten Versuche, Cyancetyl zu erhalten, gewonnene analoge Körper besafs. Er war ohne Zweifel ebenso wie die durch Einwirkung von Schwefelsäurehydrat auf Aether im Wasserbade erhaltene ähnliche Substanz ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd.

Die alkoholisch-ätherische Lösung, aus der sich diese Substanz abgesetzt hatte, mußte namentlich das Cyancetyl enthalten. Sie wurde in einem Kolben mit einer alkoholischen Lösung von Kalihydrat so lange gekocht, als sich noch Ammoniak entwickelte, und bis die rückständige Masse fest geworden war. Das entwickelte Ammoniak war in verdünnter Salzsäure aufgefangen worden. Beim Abdampfen dieser Flüssigkeit schied sich daraus ein Tröpfchen einer

öligem Substanz ab, von der noch ein zweites Tröpfchen erhalten wurde, als die Flüssigkeit im Wasserbade zur Trockne gebracht und der Rückstand in Wasser gelöst wurde. Die Menge dieses Körpers war viel zu gering, um ihn näher untersuchen zu können. Ich habe nur nachgewiesen, daß er keinen Stickstoff enthielt.

Die im Kolben rückständige Masse ward nun mit verdünnter Salzsäure gekocht, und die abgeschiedene fette Substanz mit kochendem Wasser und Ammoniak geschüttelt, worauf die trübe Flüssigkeit mit Chlorbaryum gefällt wurde. Der erhaltene Niederschlag wurde zuerst mit Wasser, dann mit Alkohol gewaschen, und endlich mit Aether vielfältig ausgekocht, bis dieser durchaus nichts mehr aufnahm. Dann schüttelte ich denselben mit alkoholfreiem Aether und Salzsäure, wodurch ich eine Lösung der Säure in Aether erhielt, von der der Aether abdestillirt wurde. Die rückständige Säure schmolz bei $56^{\circ},6\text{C.}$, war noch etwas gelblich gefärbt und erstarrte, nachdem sie geschmolzen war, mit schuppig und feinnadlig krystallinischer Oberfläche. Die Gesamtmenge dieser Säure betrug beinahe 20 Grm. Man sieht daraus, daß zwar ein bedeutender, aber doch nur der geringere Theil des cetyloxydschwefelsauren Kalis in die Säure übergeführt worden war. Denn 98 Grm. dieses Salzes hätten der Theorie nach ungefähr 73 Grm. der Säure liefern müssen.

Durch Umkrystallisiren aus Alkohol steigerte sich ihr Schmelzpunkt zuerst auf $57^{\circ},6\text{C.}$ Als sie dann noch einmal aus einer bedeutenden Menge Alkohol umkrystallisirt wurde, schien sich der Schmelzpunkt nicht zu ändern; er lag nun genau bei $57^{\circ},4\text{C.}$ Das Ansehen der nach der Schmelzung erstarrenden Säure war nach der ersten und zweiten Krystallisation dasselbe. Sie erschien in beiden Fällen schuppig krystallinisch. Ich glaubte daher den Versuch machen zu dürfen, ob der Schmelzpunkt auch bei der partiellen Fällung mittelst essigsaurer Magnesia constant bleiben würde. Allein es zeigte sich, daß dies nicht der Fall war. Die aus dem niedergeschlagenen Magnesiasalze

abgeschiedene Säure schmolz bei $56^{\circ},0\text{ C.}$, die aus der Flüssigkeit wiedergewonnene bei $58^{\circ},6\text{ C.}$ Jene erstarrte undeutlich nadlig und schuppig krystallinisch, diese schön blumig krystallinisch.

Zuerst suchte ich nun, nachdem ich die gesammten Säureportionen wieder gemischt hatte, durch sehr häufig wiederholte Krystallisation aus Alkohol eine reine Säure zu gewinnen. Ich erhielt dadurch nach einander Säuren von folgenden Schmelzpunkten $56^{\circ},7$, $56^{\circ},7$, $58^{\circ},6$, $59^{\circ},4$, $63^{\circ},2$, $65^{\circ},2$ und $65^{\circ},7\text{ C.}$ Nach der ersten und zweiten Krystallisation erschien die erstarrte Säure fast ganz unkrySTALLINISCH, nach den späteren wurde sie immer krystallinischer, ohne jedoch vollkommen das schuppische Ansehen einer reinen festen fetten Säure anzunehmen. Die Menge der bei der letzten Umkrystallisation abgeschiedenen Säure war zu gering geworden, als dafs damit weitere Versuche hätten angestellt werden können. Sie wurde daher den alkoholischen Lösungen beigegeben und diese nun der partiellen Fällung mit essigsaurer Magnesia unterworfen.

Hierbei habe ich mich einer abgeänderten Methode bedient, die mir aus zwei Gründen vortheilhaft zu seyn scheint. Dieselbe besteht darin, dafs ich nicht die Lösung der freien fetten Säure partiell fällte, sondern die des neutralen Natronsalzes. Einmal hat man dadurch den Vortheil, dafs sich keinesfalls auch nur eine Spur des Aethers der fetten Säure bilden kann, und dann scheint mir gerade dieser Versuch zu lehren, dafs bei Anwendung des Natronsalzes durch die partielle Fällung vollkommener die Trennung der in einem Gemisch enthaltenen Säuren gelingt.

Zur Darstellung des Natronsalzes der fetten Säuren kochte ich sie mit Alkohol und überschüssigem kohlen-sauren Natron, filtrirte ab, und fällte nun das Filtrat mehrmals mittelst einer alkoholischen Lösung von 0,8 bis 1,0 Grm. essigsaurer Magnesia. Es wurden hinter einander sechs Säureportionen erhalten, deren Schmelzpunkte in der Reihe, in der sie abgeschieden wurden, folgende waren 1) $57^{\circ},7$, 2) $57^{\circ},2$, 3) $58^{\circ},8$, 4) $59^{\circ},2$, 5) $59^{\circ},4$

6) $58^{\circ},2\text{C}$. Die Portion 1) war ganz unkrystallinisch, 2) dagegen schon deutlich fein nadlig schuppig, 3) noch vollkommener krystallinisch, 4, 5, 6) endlich sämmtlich sehr schön blumig, schuppig krystallinisch. Die letzteren drei Portionen hatten auch die Eigenschaft gemeinschaftlich, wenn sie auf Wasser geschmolzen und wieder erstarrt waren, bei vollkommenem Erkalten so stark krystallinisch zu werden, daß sie in sich zerklüfteten und eine bröckelige Masse bildeten.

Um nun zu untersuchen, welche Säureportionen mit einander zur Umkrystallisation gemischt werden durften, vermischte ich ein Minimum von je zwei der nach einander präcipitirten Säuren und bestimmte den Schmelzpunkt der Mischungen. Die Mischung von I und II, deren Schmelzpunkt bei $57^{\circ},6$ und $57^{\circ},2$ lag, schmolz bei $56^{\circ},6\text{C}$., also niedriger als jede der einzelnen Säuren, während die anderen Mischungen sämmtlich Schmelzpunkte besaßen, die in der Mitte lagen zwischen denen der einzelnen Säureportionen selbst. Beim Umkrystallisiren der zweiten und der dritten Säureportion sank der Schmelzpunkt dort von $57^{\circ},2$ auf $56^{\circ},8$, hier von $58^{\circ},8$ auf $58^{\circ},6$. Beide waren also zur Darstellung reiner Säuren nicht geeignet. Dagegen stieg der Schmelzpunkt der vierten Portion beim ersten Umkrystallisiren sofort und zwar von $59^{\circ},2$ auf $59^{\circ},6\text{C}$. Diese wurde mit der fünften und sechsten, denen sie in jeder Beziehung ähnlich erschien, gemischt und umkrystallisirt.

Es war daher die zuerst gefällte und die Mischung der vierten, fünften und sechsten Säureportion, besonders zu untersuchen.

Die erste Portion besaß noch einen zu niedrigen Schmelzpunkt, um der Hoffnung Raum zu geben, daraus durch Umkrystallisiren eine reine Säure zu erhalten. Ich fällte sie daher noch einmal partiell mit Hülfe eines Viertels ihres Gewichts an essigsaurer Magnesia. Die aus dem Niederschlag gewonnene Säure schmolz bei $59^{\circ},1\text{C}$., die aus der Flüssigkeit abgeschiedene bei $57^{\circ},1\text{C}$. Beide er-

schiienen stark schuppig krystallinisch, doch jene in bedeutend geringerem Grade als diese. Die bei $59^{\circ},1$ C. schmelzende Säure wurde viermal aus Alkohol umkrystallisirt. Dabei stieg der Schmelzpunkt auf $61^{\circ},6$, $64^{\circ},0$, $65^{\circ},4$, $66^{\circ},2$ C. Nach den ersten Krystallisationen erschien die geschmolzene und wieder erstarrte Säure ganz unkrystallinisch, und erst nach der letzten begann wieder schuppige Krystallisation einzutreten.

Leider war die Masse der bei $66^{\circ},2$ C. schmelzenden Säure durch alle diese Versuche so gering geworden, daß ich weitere Reinigungsversuche aufgeben mußte. Kaum genügte dieselbe zu einer Analyse, die ich jedoch ausführte, um den Beweis zu liefern, daß diese Säure einen größeren Kohlenstoffgehalt besitzt, als die Stearinsäure. Sie ergab folgendes:

0,1398 Grm. derselben lieferten 0,3910 Grm. Kohlen- säure und 0,1599 Grm. Wasser, entsprechend 0,10668 Grm. oder 76,28 Proc. Kohlenstoff und 0,01777 Grm. oder 12,71 Proc. Wasserstoff.

Aus der Analyse folgt, daß in der That die gefundene Kohlenstoffmenge die der Stearinsäure übersteigt. Folgende Zusammenstellung zeigt, daß die Zusammensetzung der analysirten Säure der einer 38 Atome Kohlenstoff enthaltenden Säure der Fettsäurereihe am nächsten kommt.

	gefunden	berechnet nach der Formel $C^{36}H^{36}O^4$	berechnet nach der Formel $C^{38}H^{38}O^4$
Kohlenstoff	76,28	76,06	76,51
Wasserstoff	12,71	12,68	12,75
Sauerstoff	11,01	11,26	10,74
	100	100	100

So wenig ich daher auch bezweifle, daß der wesentlichste Bestandtheil der analysirten Säure dieser Formel gemäß zusammengesetzt war, so wage ich es doch nicht dieser neuen Säure schon jetzt einen Namen zu geben, einmal weil ich sie noch nicht im reinen Zustande erhalten habe, und dann, weil ihre Zusammensetzung nur durch die

einzigste Analyse einer verhältnißmäßig nur geringen Menge Substanz ermittelt worden ist.

Will man die Entstehungsweise dieser Säure verstehen, so überlege man, daß das der Arbeit zur Basis dienende Aethyl ein Gemisch von Aethyl und Stethyl war, daß daher das daraus erzeugte Silbersalz ein Gemisch von cetyl- und stethylschwefelsaurem Kali, die Cyanverbindung ein Gemisch von Cyancetyl mit Cyanstethyl seyn mußte, welches letztere unter dem zersetzenden Einfluß des Kalihydrates nothwendig in eine Säure von der Formel $C^{36}H^{72}O^4$ übergehen mußte. Der Umstand, daß ich bei dieser Untersuchung eine kohlenstoffreichere Säure als die Stearinsäure fand, bestätigt daher vollkommen meine hier und da wohl bezweifelte Angabe, daß in dem rohen Aethyl noch andere Alkoholarten als der eigentliche Cetylalkohol vorhanden sind, daß sich namentlich der 36 Atome Kohlenstoff enthaltende Stearylalkohol (Stethyl, Stethyl-oxydhydrat) darin findet.

Die Mischung der drei letzten Säureportionen wurde nun durch Umkrystallisiren aus Alkohol gereinigt. Nach der ersten Krystallisation hatte die Säure einen Schmelzpunkt von $59^{\circ},6\text{ C.}$, und erstarrte sehr schön schuppig und blumig krystallinisch; nach der zweiten war er auf $59^{\circ},9\text{ C.}$ gestiegen und veränderte sich durch fernere Wiederholung dieser Operation nicht mehr. Die so gewonnene Säure war schneeweiß und erstarrte durchaus nicht mit nädlicher Krystallisation, wie dies die Margarinsäure nach Chevreul ¹⁾ thun soll, sondern so schuppig krystallinisch, wie die reine Stearinsäure und Palmitinsäure.

Um mich zu überzeugen, daß die bei $59^{\circ},9\text{ C.}$ schmelzende Säure chemisch rein sey, hatte ich sie schon mehrmals aus Alkohol umkrystallisirt, ohne aber ihre physikalischen Eigenschaften, namentlich ihren Schmelzpunkt verändern zu können. Jetzt unterwarf ich sie der partiellen Fällung mittelst essigsaurer Magnesia. Beide Säureportio-

1) *Chevreul, Recherches chimiques sur les corps gras Paris 1823, p. 61.*

nen, sowohl die aus dem Niederschlag, als die aus der Flüssigkeit wieder gewonnene, waren von der dieser Operation unterworfenen Säure in keiner Weise zu unterscheiden. Namentlich lag der Schmelzpunkt derselben bei $59^{\circ},9$ C., wie der der ursprünglichen Säure.

Nachdem so die vollkommene Reinheit dieser Säure dargethan war, unterwarf ich sie der Analyse. Diese ergab folgende Zahlen:

I. 0,190 Grm. der Säure lieferten 0,5256 Grm. Kohlensäure und 0,2138 Grm. Wasser, entsprechend 0,14335 Grm. oder 75,45 Proc. Kohlenstoff und 0,02376 Grm. oder 12,51 Proc. Wasserstoff.

II. 0,2595 Grm. derselben gaben 0,7188 Grm. Kohlensäure und 0,2937 Grm. Wasser. Diefs entspricht 0,19604 Grm. oder 75,55 Proc. Kohlenstoff und 0,03263 Grm. oder 12,57 Proc. Wasserstoff.

Die Resultate dieser Analyse führen zu folgender Zusammensetzung:

	I	II	berechn.	
Kohlenstoff	75,45	75,55	75,56	34 C
Wasserstoff	12,51	12,57	12,59	34 H
Sauerstoff	12,04	11,88	11,85	4 O
	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100.</u>	

Die Analysen dieser Säure sind mit der äußersten Sorgfalt ausgeführt worden, und der Verlauf der Arbeit war vollkommen fehlerlos. Sie allein beweisen schon, daß dieselbe in der That die wahre Margarinsäure, d. h. die Säure von der Zusammensetzung $C^{34}H^{34}O^4$ ist. Allein die derselben in der Zusammensetzung nahestehenden Säuren der Fettsäurereihe weichen im Kohlenstoffgehalt nur um einige Zehntel, im Wasserstoffgehalt nur um einige Hundertel ab. Deshalb war eine fernere Controle dieser Analysen nothwendig, und zu dem Ende habe ich das Natronsalz der Säure ganz nach der Methode vollkommen rein und im neutralen Zustande dargestellt, welche ich ¹⁾ in meinen früheren Arbeiten über die fetten Säuren bei Darstellung

1) Diese Annalen Bd. 87, S. 560.

der palmitinsäuren und stearinsäuren Salze beschrieben habe, um daraus das Baryt- und Silbersalz derselben zu erzeugen.

Das gewonnene Natronsalz wurde in durch Destillation besonders gereinigtem Alkohol gelöst, die Lösung in zwei Theile getheilt, und der eine Theil durch salpetersaures Silberoxyd der andere durch salpetersaure Baryterde gefällt. Die Niederschläge, welche beide schneeweifs waren, wurden filtrirt und mit destillirtem Wasser ausgewaschen. Dabei färbte sich der Silberniederschlag schwach grau, weil das Auswaschen nicht ganz bei Abschlufs des Lichtes geschehen konnte. Nach dem Trocknen erschien derselbe aber beinahe ganz weifs.

Die gewonnene margarinsäure Baryterde war ein weisses, unkrystallinisches Pulver, das ganz dem stearinsäuren Baryte glich. Bei der Analyse derselben erhielt ich folgende Resultate:

I. 0,2323 Grm. lieferten 0,4994 Grm. Kohlensäure, 0,2048 Grm. Wasser und im Schiffchen blieben 0,0670 Grm. kohlensäure Baryterde. Rechnet man die darin enthaltene (0,01496 Grm.) Kohlensäure der direct gewogenen Menge hinzu, so findet man durch Rechnung, dafs in 0,2323 Grm. des Salzes enthalten sind: 0,14028 Grm. Kohlenstoff, 0,02276 Grm. Wasserstoff und 0,05204 Grm. Baryterde, oder in Procenten 60,39 Kohlenstoff, 9,80 Wasserstoff und 22,40 Baryterde.

II. Durch blofses Glühen im Tiegel wurden aus 0,2425 Grm. des Salzes 0,0703 Grm. kohlensäure Baryterde, entsprechend 22,52 Proc. Baryterde erhalten.

Hieraus folgt folgende Zusammensetzung:

	I.	II.	berechnet.	
Kohlenstoff	60,39	—	60,44	34 C
Wasserstoff	9,80	—	9,78	33 H
Sauerstoff	7,41	—	7,11	3 O
Baryterde	22,40	22,52	22,67	1 Ba O
	100.		100.	

Das margarinsäure Silberoxyd, welches dem entsprechenden stearinsäuren Salze vollkommen ähnlich war, na-

mentlich ebenfalls vollkommen unkrystallinisch und ziemlich locker erschien, gab bei der Analyse folgende Resultate.

I. 0,2518 Grm. gaben 0,4955 Grm. Kohlensäure, entsprechend 0,13514 Grm. Kohlenstoff, 0,1981 Grm. Wasser, entsprechend 0,02201 Grm. Wasserstoff und im Schiffchen blieben 0,0719 Grm. Silber. Hiernach enthält das Salz in 100 Theilen 53,67 Theile Kohlenstoff, 8,74 Theile Wasserstoff und 28,55 Theile Silber.

II. 0,3355 Grm. desselben hinterliessen beim Glühen im Tiegel 0,0961 Grm. Silber. Diefs entspricht 28,65 Proc.

Aus den Resultaten der Analysen folgt folgende Zusammensetzung:

	I.	II.	berechnet.	
Kohlenstoff	53,67	—	54,11	34 C
Wasserstoff	8,74	—	8,75	33 H
Sauerstoff	9,03	—	8,49	4 O
Silber	28,55	28,64	28,65	1 Ag
	100.		100.	

Aus dieser Zusammenstellung folgt, dafs die untersuchte Säure, deren vollkommene Reinheit und Ungemischtheit durch vorhergehende Versuche nachgewiesen war, in der That die 34 Atome Kohlenstoff enthaltende Säure der Fettsäurereihe ist. Ich nenne sie Margarinsäure, weil einem Gemisch von Palmitinsäure und Stearinsäure, das man für eine reine Substanz hielt und dessen Zusammensetzung man durch die Formel $C^{34}H^{34}O^4$ ausgedrückt hat, dieser Name beigelegt worden ist, und man sich daher gewöhnt hat, mit demselben diese chemische Formel zu verbinden.

Auffallend ist, dafs diese Säure abweicht von dem Gesetz, dafs der Schmelzpunkt der festen fetten Säuren um so höher liegt, je gröfser ihr Kohlenstoffgehalt ist, wenn auch nicht in dem Grade, in welchem diefs Becker beobachtet haben wollte, und ein sonderbarer Zufall, dafs ihr Schmelzpunkt genau derselbe ist, wie der, welchen man früher der Margarinsäure, die doch ein Gemisch von Stearinsäure und Palmitinsäure war, zuschrieb. Ich gebe den

der reinen Margarinsäure zu $59^{\circ},9$ C. an, während Chevreul ihn für jene Mischung gleich 60° C. festsetzt. Ich muß jedoch bemerken, daß bei meinen Schmelzpunktsbestimmungen nicht auf die zu geringe Ausdehnung des Quecksilberfadens in dem Theil des Capillarrohrs des Thermometers Rücksicht genommen worden ist, welcher sich außerhalb des erwärmten Wassers befand. Meine sämtlichen Bestimmungen sind daher um etwa 3 bis 4 Zehntel-Grade zu niedrig. Es scheint mir aber mehr als wahrscheinlich, daß auch Chevreul hierauf nicht Rücksicht genommen hat.

Daß die von mir untersuchte Säure nicht auch nur ein Gemisch zweier Säuren ist, sondern eine reine Substanz folgt mit Entschiedenheit aus den Versuchen, dieselbe durch Umkrystallisiren sowohl als durch partielle Fällung in zwei Säureportionen von verschiedenen Eigenschaften zu zerlegen. Es wäre zudem auffallend, daß noch ein anderes Säuregemisch, als das, welches man früher für Margarinsäure gehalten hatte, sowohl für sich analysirt, als bei der Analyse der Salze dieselben Zahlen liefern sollte, wie die Formel der Margarinsäure verlangt.

Um noch einen andern Unterschied zwischen dieser Säure und der früher sogenannten Margarinsäure aufzufinden, habe ich versucht, wie sich die Mischungen dieser Säure mit der Stearinsäure in verschiedenen Verhältnissen verhalten. Ich habe dabei, correspondirend ihrem abweichenden Schmelzpunkte, Abweichungen gefunden von der Regel, welche ich in Betreff derselben für die Glieder der Fettsäure aufgestellt habe, deren Kohlenstoffatomanzahl durch 4 theilbar ist.

Die Resultate dieser Versuche sind in folgender Tafel zusammengestellt.

Ein Gemisch von

Stearinsäure	Margarinsäure	schmilzt bei	und erstarrt
0 Theilen und 100 Theilen		59°, 9 C.	schuppig krystallinisch
10 " " 90 "		59,5	schuppig krystallinisch
20 " " 80 "		59,8	schuppig krystallinisch nur etwas weniger ausgezeichnet
30 " " 70 "		60,8	wie vorige Mischung
40 " " 60 "		61,2	do.
50 " " 50 "		62,0	wie vorige Mischung, doch nimmt der durch die schuppige Krystallisation bedingte Perlmutterglanz zu
60 " " 40 "		63,1	wie vorige Mischung
70 " " 30 "		64,7	do.
80 " " 20 "		66,2	do.
90 " " 10 "		67,6	wie reine Margarinsäure
100 " " 0 "		69,2	schuppig krystallinisch

Um zu sehen, wie sich diese Säure in ihren Mischungen mit einigen anderen festen fetten Säuren verhält, habe ich auch die mit der Palmitinsäure und Myristinsäure dargestellt und ihren Schmelzpunkt bestimmt. Die gefundenen Resultate sind in den folgenden Tabellen enthalten.

Ein Gemisch von

Palmitinsäure	Margarinsäure	schmilzt bei	und erstarrt
0 Theile und 100 Theile		59°, 9 C.	schuppig krystallinisch
10 " " 90 "		58,7	ganz wie reine Margarinsäure
20 " " 80 "		57,6	schuppig krystallinisch, etwas mehr blumig
30 " " 70 "		56,9	wie vorige Mischung
40 " " 60 "		56,5	wie vorige Mischung
50 " " 50 "		56,0	do.
60 " " 40 "		56,0	do.
70 " " 30 "		57,0	sehr schön blumig fast langnadelig
80 " " 20 "		58,6	} in schönen langen Nadeln ganz so wie die früher Margarinsäure genannte Mischung von Stearinsäure u. Palmitinsäure
90 " " 10 "		60,2	
100 " " 0 "		62	schuppig krystallinisch

Ein Gemisch von

Myristinsäure	Margarinsäure	schmilzt bei	und erstarrt
0 Theile und 100 Theile		59°, 9 C.	schuppig krystallinisch
10 " " 90 "		57,5	nicht sehr deutlich schuppig krystallinisch

Ein Gemisch von				schmilzt bei	und erstarrt
Myristinsäure		Margarinsäure			
20 Theile	und	80 Theile		55°,5 C.	undeutlich krystallinisch nicht schuppig oder perlmutterglänzend
30	»	70	»	53,5	fast ganz unkrystallinisch, mit ziemlich ebener Oberfläche
40	»	60	»	50,5	vollkommen unkrystallin., opak
50	»	50	»	46,2	wie die vorige Mischung
60	»	40	»	45,6	etwas körnig krystallinisch
70	»	30	»	44,7	wie Voriges, die Körner stellenweise größer, aber unregelmäßiger
80	»	20	»	48,8	wie Voriges, opak, Körnchen sehr undeutlich
90	»	10	»	51,8	opak, in concentrisch gruppirten, kaum kenntlichen Nadeln krystallinisch
100	»	0	»	53,8	schuppig krystallinisch

Diese Schmelzpunktsbestimmungen, so wie die Untersuchung der Oberfläche der erstarrten Mischungen lehren, daß die reine Margarinsäure sich ganz anders gegen Stearinsäure verhält, als die Mischung der Stearinsäure und Palmitinsäure, welche man früher mit dem Namen Margarinsäure belegt hat. Während der Schmelzpunkt jener, wenn sie mit Stearinsäure gemischt wird, höchstens auf 69°,5 C. sinkt, so giebt es nach Gottlieb ¹⁾ eine Mischung dieser mit Stearinsäure, welche bei 56° C. flüssig wird. Letztere Mischungen unterscheiden sich in der Art, wie sie erstarren, sehr bedeutend von den reinen Säuren, die die Mischung bilden, erstere dagegen kaum merklich.

Es ist sehr merkwürdig, daß die Mischungen der Margarinsäure mit den verschiedenen festen fetten Säuren sich so ganz verschieden verhalten, während diese letzteren unter einander gemischt, einem bestimmten Gesetz folgen. Die niedrigst schmelzende Mischung der Margarinsäure mit der Stearinsäure hat nur einen um 0°,4 C. niedrigeren Schmelzpunkt, als die Margarinsäure selbst, während die niedrigst schmelzende Mischung derselben mit der Palmitinsäure bei einer, um 6° C. und mit der Myristinsäure bei einer um

1) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 57, S. 37*.

9°, 1 C. niedrigeren Temperatur flüssig wird, als die leichtest schmelzende Säure des Gemischs im reinen Zustande.

Auch die Art der Erstarrung ist ganz verschieden. Die Mischungen der Margarinsäure mit der Stearinsäure erstarren fast genau wie die reinen Säuren selbst, die mit der Palmitinsäure zum Theil zwar ebenfalls gleich ihnen; es giebt aber auch Mischungen dieser Säuren, die wie die Margarinsäure benannte Mischung von Stearinsäure mit Palmitinsäure in deutlichen langen Nadeln erstarren. Endlich die Mischungen derselben mit der Myristinsäure sind meist alle opak und unkrystallinisch, oder wenn sie krystallinisch sind, so bilden sich in der erstarrenden Mischung kleine körnige Anhäufungen, welche wahrscheinlich aus concentrisch gruppirten Nadeln bestehen.

Schliesslich sey es mir gestattet, kurz die Resultate der vorliegenden Arbeit zu recapituliren.

1. Durch Einwirkung von Chlorwasserstoff auf Aethyl kann Cyancetyl nicht erzeugt werden, selbst dann nicht, wenn dieser Körper im Entstehungsmomente darauf einwirkt.

2. Bei der Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf ein im Wasserbade erhitztes Gemisch von Aethyl mit stark überschüssigem Kochsalz bildet sich ein fester Körper, der ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd zu seyn scheint.

3. Chlorcetyl wird weder durch Cyankalium, noch durch Cyanquecksilber oder Cyansilber so reichlich zer setzt, dass dadurch Cyancetyl mit Vortheil dargestellt werden könnte. Selbst bei Erhitzung eines Gemisches des letzteren mit Chlorcetyl in einem Papinischen Topfe wird nach mehreren Tagen nur eine kleine Menge Cyancetyl gebildet.

4. Bei der Einwirkung des Kalihydrates auf Cyancetyl entsteht neben Ammoniak keine nachweisbare Menge Methylamin oder einer anderen flüchtigen Alkoholbase.

5. Durch längere Einwirkung der concentrirten Schwefelsäure auf Aethyl entsteht, mag freier Luftzutritt statt-

finden oder derselbe gehemmt seyn, unter Entwicklung einer geringen Menge schwefliger Säure ein fester zwischen 50° und 55° C. schmelzender Körper, der ein Gemisch von Cetyläther mit Palmitylaldehyd zu seyn scheint.

6. Bei Darstellung des cetylschwefelsauren Kalis ist es, um eine möglichst große Ausbeute zu erhalten, erforderlich, die Mischung des Aethals und der Schwefelsäure bei möglichst niedriger Temperatur, also bei dem Schmelzpunkte des ersteren zu bewerkstelligen, dann baldigst die Mischung in Alkohol zu lösen und mit Kalihydrat zu sättigen.

7. Obgleich es bis jetzt nicht möglich ist, Cyancetyl im reinen Zustande zu gewinnen, so erzeugt sich doch eine bedeutende Menge desselben, wenn man cetyloxydschwefelsaures Kali mit reinem, namentlich Kali-freiem Cyankalium mit Hilfe von Alkohol *aufs Innigste* zusammenreibt und das Gemisch, nachdem es unter der Luftpumpe wieder vollkommen getrocknet ist, in einem Kolben bei Abschlufs der Luft auf 180° bis 200° C. erhitzt. Auch hier bildet sich als Nebenproduct etwas von dem bei 50° bis 55° C. schmelzenden Körper, der wahrscheinlich ein Gemisch von Cetyläther und Palmitylaldehyd ist.

8. Das Cyancetyl ist ein flüssiger Körper. Es wird durch Kalihydrat in Ammoniak und das Kalisalz einer fetten Säure verwandelt.

9. Die aus dem unreinen Cyancetyl in dieser Weise gewonnene Säure ist ein Gemisch von Margarinsäure ($C^{34}H^{34}O^4$) mit einer kohlenstoffreicheren Säure, als die Stearinsäure, deren Zusammensetzung mit der Formel $C^{38}H^{38}O^4$ übereinzukommen scheint.

10. Die Margarinsäure schmilzt bei $59^{\circ},9$ C. hat ganz die übrigen physikalischen Eigenschaften der Stearin- und Palmitinsäure, und weicht auch in den chemischen nicht wesentlich davon ab.

11. Zwar giebt es Mischungen der Margarinsäure mit Stearinsäure, deren Schmelzpunkt niedriger ist, als der der ersteren, allein nicht in dem Grade wie bei Mischungen

von Stearinsäure und Palmitinsäure. Auch sind diese Gemische in der Art wie sie erstarren nicht so von einander verschieden, wie die der Stearinsäure und Palmitinsäure. Sie erscheinen sämmtlich mehr oder weniger schuppig krystallinisch und perlmutterglänzend.

VII. Ueber die niedrigen Oxydationsstufen des Tantal; von H. Rose.

Ein wesentlicher Unterschied der Tantalsäure von den Säuren des Niobs besteht darin, daß erstere durch Zink nicht zu einer blauen niedrigeren Oxydationsstufe reducirt werden kann. Wenn man ein tantalsaures Alkali durch Chlorwasserstoffsäure zersetzt, und dann metallisches Zink hinzufügt, so bekommt man, auch wenn man sehr concentrirte Lösungen angewandt hat, nicht eine blaue Lösung; auch färbt sich die gefällte Säure nicht blau. Auch selbst wenn man Schwefelsäure hinzufügt, so entsteht noch keine blaue Färbung, oder nur höchst undeutliche Anzeigen davon. Ich zeigte aber, daß man die blaue Farbe beim Tantal sehr schön auf die Weise erzeugen kann, daß man Tantalchlorid in concentrirter Schwefelsäure löst und darauf etwas Wasser und etwas Zink hinzufügt¹⁾. Auch wenn Tantalchlorid in Chlorwasserstoffsäure gelöst, und die Lösung mit wenig Wasser verdünnt wird, so entsteht die blaue Farbe; sie entsteht aber nicht beim Zusatz von vielem Wasser und kann dann selbst durch einen Zusatz von Schwefelsäure wenigstens nicht recht deutlich hervorgebracht werden.

Man erhält auch die blaue Oxydationsstufe des Tantal, wenn man Tantalsäure in saurem schwefelsaurem Ammoniak zu einem klaren Syrup aufgelöst, denselben in wenig

1) Pogg. Ann. Bd. 69, S. 134.

Poggendorff's Annal. Bd. CII.

Wasser gelöst, und dann metallisches Zink hinzugefügt hat. Besser stellt man sie her, wenn man statt etwas Wasser Chlorwasserstoffsäure hinzugefügt hat. Die blaue Farbe des Tantals wird niemals braun wie beim Niob, aber wenn sie allmählich verschwindet, so geht sie aus dem Blauen ins reine Roth über, und wird dann erst weiß, was bei dem Niob nie der Fall ist.

Vor dem Löthrohr in Flüssen kann die Tantalsäure nicht durch lange Behandlung in der inneren Flamme oder durch Zusatz von Reductionsmitteln in die blaue Modification übergeführt werden. Ich habe aber schon oben bemerkt, daß wenn Tantalfluorkalium, aber nicht Tantalfluornatrium in einem Platinlöffel geschmolzt wird, es sich bläut¹⁾.

Es zeichnet sich eine Gruppe von metallischen Säuren dadurch aus, daß sie durch reducirende Mittel blaue Verbindungen erzeugen. Zu diesen muß man ohne Zweifel auch die Tantalsäure rechnen, doch ist sie offenbar von allen diesen metallischen Säuren diejenige, welche diese Eigenschaft im geringsten Grade besitzt, und sie macht den Uebergang zu denen, bei denen wir diese Erscheinung nicht hervorzubringen im Stande sind, wie bei der Zinnsäure (Zinnoxid).

Es ist indessen sehr wahrscheinlich, daß es nach den Untersuchungen von Berzelius eine niedrigere Oxydationsstufe des Tantals von einer bestimmten Zusammensetzung giebt, die er schon 1815 in Gemeinschaft mit Gahn und Eggertz durch Reduction der Tantalsäure in einem Kohlentiegel dargestellt hat²⁾. Er hielt sie Anfangs für metallisches Tantal. Als er aber später bei seiner Untersuchung über die Fluorwasserstoffsäure und deren wichtigsten Verbindungen das metallische Tantal aus dem Kaliumtantalfuorid mittelst Kalium bereitete, erwähnt er des früher dargestellten Productes gar nicht³⁾, gedenkt

1) Pogg. Ann. Bd. 99, S. 489.

2) *Afhandling. i Fysik, Kemi och Mineralogi* Bd. 5, S. 253; Schweigger's Journ. Bd. 16, S. 438.

3) Pogg. Ann. Bd. 4, S. 10.

seiner erst in den späteren Auflagen seines Lehrbuchs und hält es für Tantaloxyd oder für tantalichte Säure.

Berzelius setzte bei der Bereitung dieses Oxyds die Tantalsäure in einem Kohlentiegel der Einwirkung des Gebläses während einer Stunde aus. Die Säure hatte sich dadurch in einen dunkelgrauen Körper verwandelt, der mit einem harten Messer gestrichen, Metallglanz annahm, der sich besonders zeigte, wenn er auf einem feinen Wetzstein geschliffen wurde. Er hatte dann das Ansehen des Eisens. Dabei zeigte sich beim Anfeuchten und während des Schleifens ein Geruch nach Wasserstoffgas, dem ähnlich, wie ihn das angefeuchtete Manganmetall ausstößt und welcher von einem Hinterhalte von Mangan herrührte, das sich bei der Analyse des Tantalits nicht völlig abscheiden liefs. — Der reducirte Körper konnte zu Pulver gerieben werden, das nicht den geringsten Metallglanz hatte und dunkelbräunlich war. Die kleinsten Theile waren so hart, dafs sie das Glas ritzen. — Das Pulver wurde weder von Chlorwasserstoffsäure, noch von Salpetersäure, noch von Königswasser, auch nicht von einer Mischung von Fluorwasserstoffsäure und Salpetersäure angegriffen, auch wenn man diese Säuren im concentrirtesten Zustande anwandte. Sie zogen nur schwache Spuren von Eisen und besonders von Mangan aus, die entweder von der Kohle herrührten, oder, was am glaublichsten war, von der Tantalsäure.

Wurde der Körper bis zur völligen Rothgluth erhitzt, so fing er Feuer, hörte aber zu glimmen auf, wenn er erkaltet wurde. Er wurde dabei grauweifs; Berzelius konnte es nicht dahin bringen, dafs ein aus der weifsesten Tantalsäure dargestellter Körper nach dem Verbrennen eine weifse Säure gab; die Farbe zog sich immer ins Graue, wobei die Gewichtsvermehrung immer variirte und um so geringer ausfiel, je grauer die Säure wurde. — Wurde die Substanz in Pulverform, mit Salpeter gemengt, in einen glühenden Tiegel geworfen, so detonirte sie, wiewohl nicht sonderlich lebhaft. Die Masse war schneeweifs. Auch

mit Kalihydrat geschmolzen, wurde sie oxydirt und mit Alkali verbunden.

In vier Versuchen verloren 100 Theile Tantalsäure durch die Reduction im Kohlentiegel 5,10; 5,10; 5,2 und 5,32 Proc., also im Mittel 5,2 Proc. Durchs Glühen beim Zutritt der Luft nahmen durch die Oxydation 100 Theile der reducirten Verbindung nur 3,5; 4 bis 4,22 Theile Sauerstoff auf, weil durchs Glühen die Oxydation nicht ganz vollständig bewirkt werden konnte.

Die Tantalsäure hatte sich bei diesen Versuchen von Berzelius offenbar in eine niedrigere Oxydationsstufe des Tantals verwandelt. Nimmt man an, dafs 100 Theile Tantalsäure durch die Behandlung im Kohlentiegel 5,2 Proc. Sauerstoff verloren hatten, so mußte die desoxydirte Säure noch 13,66 Theile Sauerstoff enthalten. Diefs ist etwas weniger als dreimal so viel als der Gewichtsverlust der bei der Desoxydation statt gefunden hat. Die desoxydirte Tantalsäure bestand im Hundert aus:

Tantal	85,59
Sauerstoff	14,41
	<hr/> 100,00

Eine Verbindung von 2 Atomen Tantal und 3 Atomen Sauerstoff würde aber im Hundert zusammengesetzt seyn aus:

Tantal	85,15
Sauerstoff	14,85
	<hr/> 100,00.

Es ist also wahrscheinlich, dafs durch die Reduction im Kohlentiegel die Tantalsäure zu einem Oxyde von der Zusammensetzung $2\text{Ta} + 3\text{O}$ desoxydirt worden ist.

Diese Ansicht wird durch die Annahme noch wahrscheinlicher, dafs die Tantalsäure von Berzelius noch Zinnoxid enthalten habe, wodurch überhaupt wegen der Reduction derselben zu Metall die graue Farbe des reducirten Products entstanden sey, und die wohl mit die Veranlassung zu der anfänglichen Annahme von Berzelius gewesen ist, die desoxydirte Tantalsäure für Tantalmetall

zu halten. Ich werde später zu zeigen suchen, daß Berzelius durch die Methode der Zersetzung der Tantalite, die er anwandte, das Zinnoxid nicht vollständig von der Tantalsäure zu scheiden im Stande war.

Denn wahrscheinlich ist wohl die Farbe der niedrigeren Oxydationsstufe des Tantals die weiße. Sie entspricht einer Oxydationsstufe des Niobs, die leicht darzustellen, und welche in den Verbindungen derselben, die sich in der Natur finden, enthalten ist. Diese ist aber vollkommen weiß. Aber diese Oxydationsstufe des Tantals würde sich wesentlich von der analogen des Niobs durch viele ihrer Eigenschaften unterscheiden. Denn diese oxydirt sich durchs Glühen an der Luft nicht zu der höchsten Oxydationsstufe des Niobs, während dieß bei dem niedrigeren Oxyde des Tantals der Fall ist. Die Tantalsäure kann ferner nicht durch die Reductionsmittel in die niedrigere Oxydationsstufe verwandelt werden, durch welche es leicht möglich ist, das höchste Oxyd des Niobs in das weniger Sauerstoff enthaltende zu verwandeln.

VIII. *Ueber zwei ausgezeichnete Beispiele der
Schmelzpunkterniedrigung;
von F. G. Schaffgotsch.*

Die bemerkenswerthe Erscheinung, daß zwei oder mehrere Körper zusammengeschmolzen einen niedrigeren Erstarrungspunkt besitzen, als jeder für sich, ist wohl zuerst an Metalllegierungen beobachtet, wenigstens mit dem Thermometer genauer untersucht worden. So ist namentlich das Rose'sche Metall und manche ähnliche Mischung aus Blei, Zinn und Wismuth oder auch aus Blei, Zinn und Zink häufig studirt worden, in neuerer Zeit hauptsächlich von Kupffer, Döbereiner, Rudberg, Svanberg,

Regnault und Erman. Eine solche Erniedrigung des Schmelzpunktes ist auch von Heintz bei Gelegenheit seiner Untersuchung der fetten Säuren an den mannigfaltigsten Mischungen dieser wahrgenommen worden. Diese Gemische und ihre Bestandtheile zeigen, wie es sich von selbst versteht, gleich jenen leichtflüssigen Metallgemischen Schmelzpunkte, die im Bereich des Quecksilberthermometers liegen und deshalb genauer bestimmt werden können. Nur in sehr beschränkter Weise gilt letzteres von einer dritten Klasse schmelzbarer Mischungen, nämlich von gemischten Salzen; denn weißt man auch, daß kohlen saure Erden mit den entsprechenden Chlor- oder Fluormetallen leicht zusammenschmelzen, wie Berthier und Döbereiner gefunden, oder daß schwefelsaures Kali mit schwefelsaurem Natron sowie kohlen saures Kali mit kohlen saurem Natron viel leichter schmilzt, als die einzelnen Salze, so liegen doch alle diese Schmelzpunkte hoch über dem Kochpunkt des Quecksilbers, sind also mit gewöhnlichen Thermometern nicht zu bestimmen.

Dagegen bieten die Verbindungen der Alkalien mit Essigsäure und Salpetersäure, vielleicht auch mit Ameisensäure, Bernsteinsäure und Chlorsäure oder die entsprechenden Schwefelcyanmetalle eine günstigere Gelegenheit dar.

An den essigsauren und salpetersauren Salzen habe ich selbst Beobachtungen angestellt und es sind die gewonnenen Zahlenresultate, welche ich hiemit veröffentliche. Zuvor einige Worte über das befolgte Verfahren. Entweder wurde erstens das Thermometer, ein hunderttheiliges und bei allen Versuchen dasselbe, dicht über dem flüssigen Salz schwebend angebracht und durch wiederholtes Eintauchen der Kugel auf einer dem bereits annähernd bekannten Schmelzpunkt möglichst nahen Temperatur erhalten, sodann nach Entfernung der Wärmequelle in das auf seiner ganzen Oberfläche erstarrende Salz rasch eingetaucht und beobachtet, oder es wurde zweitens die Thermometerkugel im flüssigen Salz ohne den Boden des Schmelz-

gefäßes zu berühren, schwebend erhalten, die Wärmequelle entfernt und im Augenblick, wo die Mitte der Salzoberfläche erstarrte, der Thermometerstand beobachtet oder es wurde endlich drittens an dem mit seiner Kugel im Salz schwebenden und weit über den Schmelzpunkt erhitzten Thermometer nach Entfernung der Wärmequelle die Zeitdauer der Erkaltung von Grad zu Grad beobachtet und der Grad, bei dem die größte Verzögerung des Erkaltens eintrat, als Erstarrungspunkt angenommen. Die zweite und dritte Verfahrensweise, die übrigens gut übereinstimmende Resultate geben, sind bei Schmelzpunkten in der Nähe von 330° nicht mehr anwendbar, weil dann der Gang des Thermometers in Folge von Gasbildung in der Kugel unregelmäßig wird.

I. Essigsäures Kali und Natron.

43 Grm. Kalisalz in einem Porcellantiegel geschmolzen erstarrten nach dem ersten Verfahren beobachtet bei 292° und 34 Grm. essigsäures Natron, ebenso beobachtet, bei 319° . Da beide Salze sich im Schmelzen allmählich zersetzen, braun und kohlen säurehaltig werden, so war ich gegen die gefundenen Zahlen misstrauisch, um so mehr, als ich den Schmelzpunkt des Natronsalzes *unter* dem des Kalisalzes erwartet hatte. Gleichwohl haben sich mir diese Schmelzpunkte bei Wiederholung der Versuche mit grösseren Salz mengen von anderer Bereitung unter bestmöglicher Abwehr jeder Zersetzung lediglich bestätigt.

Die Erniedrigung des Schmelzpunktes beider Salze durch ihre Vereinigung ist beträchtlich, denn nach dem Zusammenschmelzen derselben im Verhältniß ihrer Atomgewichte erstarrten 76 Grm. der Mischung, nach dem ersten Verfahren beobachtet, bei 224° , also 68° unter dem Erstarrungspunkte des Kalisalzes und 95° unter dem des Natronsalzes, welche Temperaturen übrigens nicht in Bezug auf das Hervorragen der Scale berichtet sind.

Ich bemerke beiläufig, dafs beim Erstarren des Salzgemisches niemals jene eigenthümlichen Auswüchse wahrgenommen wurden, welche sich auf der Oberfläche der untermischten Salze zeigen und gewöhnlich für Krystalle gehalten werden.

II. Salpetersaures Kali und Natron.

Bei sämmtlichen Versuchen wurde das Salz oder Salzgemisch in der Menge von 80 bis 81 Grm. angewendet, zum Schmelzgefäfs ein und derselbe Platintiegel genommen, das Thermometer immer gleich weit, nämlich bis zum Grade — 11 eingetaucht und überhaupt die gröfste Gleichmäfsigkeit im Verfahren beobachtet. Der Berichtigung der Temperaturen in Bezug auf das Hervorragen der Scale ist als Wärme des nicht mit eingetauchten Theiles der Quecksilbermasse nach ungefährer Schätzung die Temperatur von 40° zu Grunde gelegt. Diese Berichtigung mufs ich selbst für ziemlich willkürlich erklären. Auch noch ein zweiter Umstand, nämlich die, wie es scheint, bei starker und anhaltender Erhitzung unvermeidliche Zerrei fsung oder Abtrennung des Quecksilberfadens im Thermometer, hat mich verhindert, meinen Beobachtungen die gewünschte Schärfe zu geben; doch wird das Hauptergebnifs durch beide Uebelstände nicht berührt.

Zum Messen der Abkühlungszeiten diente ein $\frac{4}{5}$ Sekunde schlagendes Pendel. Die Thermometerscale betrachtete ich durch eine Bruecke'sche Lupe.

Reines salpetersaures Kali, nach dem ersten Verfahren beobachtet, erstarrte bei 323° roh oder 338°,3 berichtigt und reines salpetersaures Natron, nach dem dritten Verfahren beobachtet, bei 300° roh oder 313°,1 berichtigt. Alle von mir dargestellten Mischungen beider Salze waren leichter schmelzbar, als das leichtflüssigere von ihnen, nämlich das Natronsalz. Die Mischungen mit den beiden reinen Salzen zusammengestellt geben folgende Tafel:

		roher Erstar- rungspunkt.	ber. Erstar- rungspunkt.
Salpetersaures Natron		300°	313°,1
Mischung von 10 Proc. Kalisalz		286	297,7
„ „ 20 „ „		270,5	281
„ „ 30 „ „		253	262
„ „ 37,26 „ „		240	248
„ „ 37,29 „ „		240	248
„ „ 40 „ „		236	243,6
„ „ 41,1 „ „		234	241,6
„ „ 43,9 „ „		229	236,3
„ „ 50 „ „		222	228,8
„ „ 54,3 „ „		219	225,6
„ „ 60 „ „		223	229,8
„ „ 70 „ „		242	250,3
„ „ 70,4 „ „		243	251,3
„ „ 80 „ „		270	280,4
„ „ 90 „ „		298	311
Salpetersaures Kali		323	338,3.

Die Mischung von 37,26 Proc. Kalisalz ist von der nächstfolgenden nur um 0,03 Proc. verschieden und zeigt denselben Erstarrungspunkt.

Die Mischung von 37,29 Proc. Kalisalz besteht aus *einem* Atome salpetersaurem Kali und *zwei* Atomen salpetersaurem Natron.

Die Mischung von 41,1 Proc. Kalisalz enthält gleiche Mengen von Kalium und Natrium, die Mischung von 43,9 Proc. gleiche Mengen Kali und Natron.

Die Mischung von 54,3 Proc. Kalisalz besteht aus einem Atom von jedem Salze, so daß in jedem Salze gleich groß ist die Menge des Stickstoffs, die Menge der Salpetersäure und die des gesammten Sauerstoffs. Aus dieser Mischung sind durch wiederholten Zusatz von Natronsalz alle schon

erwähnten kaliärmeren Mischungen dargestellt worden mit Ausnahme der Mischung von 37,29 Proc. Kalisalz, welche unmittelbar aus den Bestandtheilen gebildet wurde und mit Ausnahme der Mischung von 40 Proc. Kalisalz, welche aus der letztgedachten durch Zusatz von Kalisalz entstand.

Alle Mischungen endlich, die mehr als 54,3 Proc. Kalisalz enthalten, sind unmittelbar aus Kalisalz und Natronsalz dargestellt, ausgenommen die Mischung von 70 Proc., welche aus der sogleich zu erwähnenden und salpetersaurem Natron zusammengeschmolzen wurde.

Die Mischung von 70,4 Proc. Kalisalz besteht aus *zwei* Atomen Kalisalz und *einem* Atom Natronsalz. Die Erkalnungszeiten waren in der Nähe des Erstarrungspunktes so auffallend kurz, daß ich nach einem zweiten tiefer liegenden Erstarrungspunkte suchte, den ich aber so wenig bei dieser als bei anderen Mischungen fand.

Der Schwerpunkt der ganzen Untersuchung fällt offenbar auf das gleichatomige Gemisch von 54,3 Proc. Kalisalz. Es ist das schmelzbarste von allen und erstarrt $87^{\circ},5$ tiefer als das reine salpetersaure Natron, $112^{\circ},7$ tiefer als das reine salpetersaure Kali. Wiederholter Zusatz von Kalisalz *oder* Natronsalz bringt eine *stetige* Erhöhung des Schmelzpunktes zuwege und so kommt es, daß die Mischung von 20 Proc. Kalisalz mit der von 80 Proc., sowie die von 50 Proc. mit der von 60 Proc. ziemlich gleichen Schmelzpunkt hat. Auch sieht man, daß eine Mischung von 90,7 Proc. Kalisalz ungefähr den Schmelzpunkt des reinen Natronsalzes haben wird.

Da die Mittheilung sämtlicher Thermometerablesungen, deren Zahl gegen achthundert beträgt, zu weitläufig wäre, so will ich beispielsweise hier zum Schluß nur die an zwei Salzmischungen beobachteten Erkalnungszeiten angeben.

A. Mischung von 70 Proc.

Anfangshitze 300°. Zeiteinheit 0",8. Erstarrungspunkt 242°.

		245°					240°					235°	
		13	15	25	35	40	39	38	35	33	34	I	
		14	18	28	41	37	40	43	40	37	33	II	
		13	18	26	34	39	32	36	37	32	30	III	
10	11	14	19	25	35	35	37	37	31	32	31	IV	
10	12	14	18	27	35	37	35	34	31	32	27	V	

B. Mischung von 70,4 Proc.

Anfangshitze 300°. Zeiteinheit 0",8. Erstarrungspunkt 243°.

		245°					240°					235°	
13	14	19	26	37	38	41	»	»	»	»	»	I	
14	14	19	24	33	40	33	35	36	30	26	28	II	
14	13	18	26	30	34	35	31	31	31	31	29	III	
13	15	18	25	38	37	39	33	31	32	27	23	IV	
15	16	19	30	38	36	39	40	34	25	28	29	V	

IX. Ueber die Gase des Blutes; von Lothar Meyer aus Varel a. d. Jahde.

(Aus Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin N. F. Bd. VIII. Heft 2, im Auszuge mitgetheilt vom Verfasser.)

1. **U**nsere Kenntniss der Gase des Blutes beruhte bisher wesentlich nur auf den ausgezeichneten Arbeiten von Magnus über diesen Gegenstand, deren Publication

sich in diesen Annalen (Bd. 40 und 66) findet. Die Resultate derselben werden theils betätigt, theils erweitert und vervollständigt durch eine Untersuchung, deren Publication in extenso zunächst dem medicinischen Publicum vorgelegt wurde, von der ich hier nur kurz die Resultate mittheilen will. Diese Arbeit wurde in Prof. Bunsen's Laboratorium in Heidelberg ausgeführt und daselbst im September 1856 abgeschlossen. Sie hatte zum Zweck, erstens die Quantitäten der im normalen, und zwar zunächst im arteriellen Blute vorhandenen Gase O, N, CO₂ zu bestimmen, und zweitens zu ermitteln, ob und in wie weit die Aufnahme und Ausgabe derselben dem Henry-Dalton'schen Absorptions-Gesetze folge.

2. Die Gewinnung der Gase aus dem Blute geschah nach der von Bunsen angegebenen Methode der Auskochung im luftleeren Raume ¹⁾. Um das zu starke Schäumen und das Gerinnen des Blutes zu verhindern, wurde dasselbe mit seinem 10 bis 20 fachen Volumen luftfreien, destillirten Wassers versetzt und bei möglichst wenig erhöhter Temperatur unter Abkühlen der luftleeren Vorlage ausgekocht. Nachdem die freien Gase ausgetrieben, wurde die gebundene Kohlensäure durch krystallinisch eingebrachte Weinsäure abgeschieden und durch eine zweite Auskochung nach derselben Methode gewonnen. Das Nähere des Verfahrens, so wie einige geringe Modificationen, welche die Eigenthümlichkeit des Gegenstandes erforderte, sind in meiner vollständigen Publication angegeben.

3. Die eudiometrische Analyse der so gewonnenen Gase gab für die in 100 Volumen Blut enthaltenen Gas-mengen, gemessen bei 0° und 0^m,76, folgende Zahlen.

1) Siehe über dieselbe: Baumert, chemische Untersuchungen über die Respiration des Schlammpeizgers (*Cobitis fossilis*), Breslau, Nischkowsky, auch abgedruckt in den Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 88, S. 2.

Bunsen, Gasometrische Methoden, Braunschweig 1857 S. 17.

Datum 1856	Art des Blutes	freies Gas	O	N	freie CO ₂	gebund. CO ₂	gesammte CO ₂	gesamm- tes Gas
Jan. 17	<i>Arteria carotis Hund No. 2</i>	—	—	—	—	23,75	—	—
Febr. 12	» » No. 1	20,88	12,43	2,83	5,62	28,61	34,23	49,49
» 19	» » No. 2	—	(3,79)	(2,94)	—	—	(27,10)	(33,84)
» »	» » »	28,24	18,42	4,55	5,28	20,97	26,25	49,21
» »	» » »	25,50	14,29	5,04	6,17	28,58	34,75	54,08
» 28	» » No. 1	17,04	11,55	4,40	1,09	18,12	19,21	35,16
	mit Luft bei 21 bis 22° C. und 0m,7464 Ba- rometerst. geschütteltes defibrinirtes Kalbs- blut	—	(5,81)	(4,12)	—	—	(21,56)	(31,49)

Der mit No. 1 bezeichnete Hund war 7,5 Kilogramm schwer und vollkommen ausgewachsen; No. 2, 9,5 Kilogramm schwer, etwa $\frac{3}{4}$ Jahr alt und kaum ausgewachsen.

Beide Thiere zeigen eine ziemlich erhebliche Verschiedenheit in der Zusammensetzung der Blutgase; das Blut des jüngeren enthält weniger gebundene CO_2 und weit mehr freien O. Bei einem und demselben Thiere ist die Zusammensetzung ziemlich constant.

4. Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf Versuche, bei denen die Weinsäurekrystalle gleich im Anfange zugesetzt, und nicht, wie bei den übrigen, das Blut erst für sich, dann mit Säure ausgekocht wurde. Diese Versuche geben dieselbe Quantität CO_2 und N, aber sehr viel weniger O. Die Säure bewirkt also, daß der größte Theil des Sauerstoffs nicht mehr durch Kochen aus dem Blute entfernt werden kann. Sie veranlaßt die Oxydation irgend eines Blutbestandtheils, die jedoch nicht bis zur CO_2 Bildung geht.

5. Zu Absorptionsversuchen mit Blut ist das Bunsen'sche Absorptiometer nicht anwendbar. Ich bediente mich daher eines sehr einfachen aus einem cylindrischen zur Aufnahme des Blutes bestimmten Gefäße und einem mit demselben beweglich verbundenen Manometer bestehenden Apparates, von dem ich a. a. O. eine Zeichnung gegeben habe. Derselbe dürfte auch für Absorptionsversuche mit anderen Substanzen brauchbar seyn, welche nicht mit Quecksilber in Berührung kommen dürfen. Zur Beurtheilung der mit demselben zu erreichenden Genauigkeit sind a. a. O. einige zu seiner Prüfung angestellte Versuche mitgetheilt.

Zu den Absorptionsversuchen diente difibrinirtes Blut, dem durch Auskochen im luftverdünnten Raume bei etwa 30°C . seine freien Gase entzogen worden.

6. Die Versuche zeigen, daß bei allen drei Gasen, CO , O, N die aufgenommene Quantität mit dem Drucke, unter dem das freie Gas mit dem Blute in Berührung

kommt, variirt, und zwar sind die Aenderungen dieser Quantität proportional der Zu- und Abnahme des Druckes.

Die absolute Menge des Sauerstoffs und der Kohlensäure, welche das Blut aus einer reinen Atmosphäre je eines dieser Gase aufnimmt, sind indess nicht dem absoluten Drucke proportional, unter dem die Aufnahme stattfindet. Mit anderen Worten, diese Menge besteht (wie z. B. die des Chlors im Wasser)¹⁾ aus zwei Theilen, deren einer vom Drucke unabhängig ist, während der andere dem Henry-Dalton'schen Absorptionsgesetze gehorcht. — Das von dem Blut-Volumen h bei dem Drucke P und der Temperatur t aufgenommene Gasvolumen, gemessen bei der Einheit des Druckes und der Temperatur 0° , ist

$$A = kh + \alpha hP,$$

wo α den Absorptionscoefficienten und k eine andere, gleichfalls vom Drucke unabhängige Constante bezeichnet.

Beim Stickstoff dagegen scheint die ganze aufgenommene Menge dem Drucke proportional, die Aufnahme also ein reines Absorptionsphänomen zu seyn. Die aufgenommene Quantität ist indess gering, sie beträgt nur einige (etwa 3 bis 4) Proc. in die Fehlergränze der Beobachtung fällt, so konnte der numerische Werth des Absorptionscoefficienten durch das eingehaltene Verfahren nicht mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden.

Auch für Sauerstoff ist der Coefficient α klein, so daß die eigentlich absorbirte, dem Drucke proportionale Menge auch dieses Gases nicht weit außerhalb der Fehlergränze der Beobachtung liegt. Der größte für α erhaltene Werth ist bei 18°C. , $\alpha = 0,04$ (Versuch 19 bis 30 a. a. O. S. 310).

Für Kohlensäure endlich ergab sich bei 12°C. der Absorptionscoefficient:

$$\alpha = 1,15 \text{ bezogen auf } 0^\circ \text{C.}^1)$$

$$\alpha = 1,20 \quad \text{ " } \quad \text{ " } \quad 12^\circ \text{C.}$$

Derselbe ist wenig größer als der von Bunsen für rei-

1) Roscoe, Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 95.

nes Wasser bei 12° C. gefundene Coëfficient, 1,10 bezogen auf 0°.

7. Den Grund für die Aufnahme des vom Drucke unabhängigen, oben mit *kh* bezeichneten Theiles des Sauerstoffes und der Kohlensäure haben wir in einer von einem oder mehreren Bestandtheilen des Blutes auf diese Gase geübten Attraction, also in der Wirkung chemischer Kräfte zu suchen.

Beim Sauerstoff ist *k* weit größer als α , mithin ist die Aufnahme des Sauerstoffes ins Blut im Wesentlichen unabhängig vom Drucke des freien Gases. Die aufgenommene Quantität variirt dagegen mit anderen Ursachen; sie nimmt z. B. ab, wenn der Gehalt des Blutes an festen Bestandtheilen verringert wird. Eine Mischung von Wasser und Blut nimmt weniger Sauerstoff auf als ein gleiches Volumen Blut, und zwar, wie es scheint, im Verhältnisse ihrer Verdünnung. Die aufgenommene Menge scheint auch zu variiren mit der Zeit, welche das aus der Ader gelassene Blut mit der Luft in Berührung blieb, ehe ihm seine freien Gase entzogen wurden. Bei defibrinirtem Kalbblut, das noch warm mit der Luftpumpe in Verbindung gebracht worden, ergab sich für 18° C. (Versuch No. 19 bis 30)

$$k = 0,166$$

bezogen auf 0° und 0^m,76 als Einheit des Druckes. Andere Versuche ergaben einen kleineren Werth.

$$k = 0,09.$$

Die Vergleichung dieser Zahlen mit den durch Auskochung des arteriellen und des mit Luft geschüttelten Blutes erhaltenen zeigt, daß die vom Drucke unabhängige Sauerstoffmenge keine wesentlich andere ist, mag das Blut mit reinem Sauerstoff, mit atmosphärischer oder mit der Lungenluft seinen Sauerstoffgehalt ausgeglichen haben. Durch die Gegenwart von N und CO₂ wird die auf den O

- 1) Vergleiche Bunsen's Definition des Absorptionscoëfficienten. Gasometrische Methoden S. 136 oder Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. 93, S. 1.

geübte Anziehung nicht, oder wenigstens nicht erheblich geändert.

Man sieht wie wesentlich diese Eigenschaft des Blutes für den Organismus ist; ohne sie würde der Aufenthalt in verschieden zusammengesetzten Gasgemischen, in verschiedenen Höhen über dem Meere nicht ohne bedeutende Störungen der Lebensfunctionen möglich seyn. Diese Eigenschaft erklärt namentlich auch die Beobachtung von Regnault und Reiset, dafs der Stoffwechsel durch das Athmen einer an Sauerstoff sehr reichen Atmosphäre nicht merklich beschleunigt wird.

8. Durch welchen Theil des Blutes die Anziehung geübt wird, und ob eine Verbindung in festen Atomverhältnissen also eine eigentlich und im engeren Sinne chemische Verbindung durch dieselbe hervorgebracht werde, habe ich zu untersuchen nicht unternommen. Jedenfalls aber ist die Verbindung eine sehr lockere. Wird der Druck des freien Sauerstoffes sehr gering oder ganz aufgehoben, so zerfällt sie; das Blut giebt unter der Luftpumpe seinen ganzen Sauerstoffgehalt ab. Zum Bestehen der Verbindung ist also die Gegenwart überschüssigen freien Sauerstoffes erforderlich. Analoga dieses Verhaltens sind nicht selten; eines der nahe liegendsten ist der Kohlensäureverlust des doppelt kohlensauren Natrons in kohlensäurefreier Luft.

Wird die alkalische Reaction des Blutes in eine saure verwandelt, so geht die lockere Verbindung in eine stabile über; der grösste Theil des Sauerstoffes kann durch Aufheben des Druckes nicht mehr abgeschieden werden. Zugleich ändert das Blut seine Farbe. Es ergibt sich hieraus, dafs die oxydirende Wirkung des Sauerstoffes nicht im Blute selbst, sondern wesentlich erst in den meistens sauer reagierenden Geweben, namentlich den Muskeln, stattfindet.

9. Das Verhalten des Blutes gegen CO_2 ist von dem gegen O wesentlich darin verschiedenen, dafs aus einer Atmosphäre reiner CO_2 eine weit gröfsere Menge dieses Gases unabhängig vom Drucke aufgenommen wird, als in

dem mit der Lungenluft in Berührung gewesenen Blute sich findet.

Defibrinirtes Kalbsblut, das an chemisch gebundener, nur durch Zusatz von Säuren auszutreibender CO_2 33,8 Volumenprocente, gemessen bei 0° und $0^{\text{m}},76$, enthielt, nahm bei 12°C. aus einer Atmosphäre von reiner CO_2 aufser der eigentlich absorbirten Menge noch 63,0 Vol. Procente auf, so dafs die ganze vom Drucke unabhängige Quantität, gemessen bei 0° und $0^{\text{m}},76$, jetzt dem Volumen des Blutes selbst gleich kam.

Eine solche Kohlensäuremenge ist, wie die angeführten Analysen zeigen, im arteriellen Blute bei weitem nicht vorhanden und kann daher auch im venösen Blute nicht vorkommen, da auch aus den ungünstigsten Annahmen über die Menge des in gegebener Zeit die Lungen passirenden Blutes und der ausgeathmeten Kohlensäure folgt, dafs das venöse Blut nur um wenige Volumen-Procente an Kohlensäure reicher ist, als das arterielle. Das im Körper circulirende Blut enthält also bei weitem nicht so viel gebundene Kohlensäure, als es in einer Atmosphäre reiner Kohlensäure zu binden vermag.

Es ist kaum eine andere Annahme möglich, als dafs in dieser doppeltkohlensaure Salze der Alkalien gebildet werden, und zwar zum Theil aus den einfach oder anderthalbfach kohlensauen, zum Theil aus den phosphorsauren Salzen der Alkalien, welche im Blute enthalten sind. Die Betheiligung der letzteren müssen wir annehmen, da die durch die Analyse gefundenen 33,8 Volumen-Procente gebundener CO_2 , selbst wenn sie auf einfaches Carbonat berechnet werden, nur die Aufnahme von weiteren 33,8 nicht aber von 63,0 Volum-Procenten erklären würden.

10. Präformirt sind doppelt kohlensaure Alkalien im kreisenden Blute, nach meinen Versuchen, deshalb nicht, oder nur in sehr geringer Menge, vorhanden anzunehmen, weil die Kohlensäure-Quantität, welche das Blut beim Auskochen im luftleeren Raume ohne Säurezusatz abgiebt, sehr gut der Menge entspricht, welche bei der Temperatur und dem Kohlensäuredruck der Lungenluft im eigentlichen Sinne

absorbirt werden muß, und zweitens, weil das Blut nach der rasch erfolgenden Abscheidung dieses Theiles auch während dreistündigen Kochens keine meßbare Menge CO_2 mehr abgibt, während NaO , 2CO_2 beim Kochen sehr rasch ein halbes Atom, dann aber fortwährend noch mehr CO_2 abgibt, und sich mehr und mehr in einfach saures Salz, NaO , CO_2 , verwandelt.

11. Die Abwesenheit des Bicarbonates im Blute ist um so auffälliger, als nach Absorptionsversuchen, die ich a. a. O. mitgetheilt habe, eine verdünnte Lösung von einfach kohlensaurem Natron auch aus einer nur wenig Kohlensäure enthaltenden Wasserstoff-Atmosphäre außer der eigentlich absorbirten noch so viel CO_2 aufnimmt, als zur Bildung von Bicarbonat erfordert wird¹⁾. Diese Bildung hört erst auf, wenn der Kohlensäuregehalt des freien Gases bis auf etwa 1 Proc. gesunken ist.

12. Aus diesen Versuchen folgt aber, daß wenn Bicarbonat im Blute einmal gebildet wäre, dasselbe an der Lungenluft keine Zersetzung erleiden würde. Es ist also gewiß mit Unrecht diesem Salze eine für die Respiration wesentliche Function zugeschrieben worden.

Im Gegensatz zu den bisherigen Ansichten stellt sich durch meine Versuche heraus, daß der Austausch der Kohlensäure höchst wahrscheinlich als ein reines Absorptionsphänomen anzusehen ist, während bei der Sauerstoffaufnahme chemische Kräfte thätig sind.

1) Für luftfreie Lösungen, welche in Form von NaO , CO_2 in einem Volumen enthielten

I	II	III
1,041	0,998	0,998 Vol. CO_2 gemessen bei 0° u. $0^m,76$
fand ich für $23^\circ,6\text{ C.}$		
$k = 1,087$	0,957	0,981 " " "
$\alpha = 0,818$	0,831	0,850 bezogen auf 0°

Die Zahlen der Columnne III sind aus Versuchen abgeleitet, die mit einem Gemisch von Kohlensäure und Wasserstoff angestellt wurden.

Für reines Wasser fand Bunsen bei $22^\circ,4\text{ C.}$ $\alpha = 0,864$. Der Coefficient wird also durch den Salzgehalt nur sehr wenig geändert.

X. Mineralogische Notizen;
mitgetheilt von Adolf Kenngott in Zürich.

1. *Ueber ein mit Dioplas vorkommendes Mineral.* — Bei meiner Anwesenheit in Wien sah ich ein dem K. K. Rechnungs-Official Hrn. L. Kacvinski gehöriges Exemplar des bekannten Dioplas-Vorkommens aus der Kirgisensteppe, an welchem ich unter den aufgewachsenen Dioplas-Krystallen einen grünen Krystall bemerkte, welcher nicht Dioplas ist. Dieser kleine Krystall von schöner smaragdgrüner Farbe und etwas über zwei Millimeter Höhe und Dicke ist orthorhombisch, und stellt, wie man aus der abgebildeten Projection auf die Basisfläche (Fig. 12, Taf. II) sieht, die Combination $\infty P. \infty P\infty. 0P. mP\infty. P\infty$ dar. Messungen konnten nicht gemacht werden, weil der Krystall für das Anlegegoniometer zu klein war; doch liefs sich aus dem Ansehen entnehmen, dafs der stumpfe Winkel des Prismas ∞P unter 120° ist, der Endkantenwinkel des Längsdoma $P\infty$ einem rechten Winkel nahe steht, der des Querdoma stumpfer ist. Die smaragdgrüne Farbe unterscheidet sich merklich von der der Diopase, indem sie einen Stich ins Gelbe zeigt. Der Glanz ist starker Glasglanz, der Krystall halbdurchsichtig. Die Flächen ∞P sind schwach vertical gestreift, die eine mehr freistehende Fläche $mP\infty$ zeigt eine auffallend convexe Bildung, ist aber glatt und glänzend, und die eine ihr anliegende Fläche $P\infty$ zeigt eine schwache Streifung parallel der Combinationskante mit ihr. Es dürfte möglich seyn, an anderen Exemplaren des Dioplas dergleichen Krystalle aufzufinden, das Aussehen erinnert etwas an Euchroit.

2. *Ueber eine Pseudomorphose des Wernerit.* — Ein über 11 Centimeter langer und fast 4 Centimeter dicker Krystall der Skapolith genannten Abänderung des Wernerit von Christiansand in Norwegen, welcher in eine

schmutzig gelblichweisse matte undurchsichtige Mineralsubstanz verändert ist, zeigt eine eigenthümliche Gestaltveränderung, welche von einer gänzlichen Erweichung der Krystallsubstanz, einer erfolgten Zerbrechung, theilweisen Umbiegung und Verschiebung und nachheriger Erhärtung Zeugniss giebt. Eine Skizze davon zeigt im verkleinerten Maassstabe die Abbildung Fig. 13, Taf. II. Die Enden sind zerbrochen, die verticale Zone zeigt $\infty P. \infty P \infty$. Die bei der Umbiegung sich emporstauenden Wülste sind mit Rissen versehen. Im Innern ist der Krystall stenglich-körnig geworden, die Oberfläche ist grösstentheils mit einer weislichen Kruste bedeckt, welche auf der Aufsenseite krystallinisch-blumigstrahlige fest aufliegende Gebilde zeigt, Reste der erfolgten Ausscheidung, welche krystallinisch fest wurden. Das Stück von seltener Schönheit ist im Besitze des K. K. Hof-Mineralien-Kabinetes in Wien und wurde im Jahre 1828 acquirirt.

3. *Ueber Calcit, eingeschlossen in Calcit.* — An die früher von mir beschriebenen Calcitkrystalle mit einem Krystallkorn derselben Species, jedoch in abweichender Gestalt, reiht sich ein Exemplar von *Derbyshire in England*, im Besitz des K. K. Hof-Mineralien-Kabinetes in Wien. Krystalle von gelblichgrauer Farbe stellen die Combination $R3.2R'. \infty R$ dar, wie die Fig. 14, Taf. II angiebt (s, r, p). Die Scaloöederflächen sind eben und bei den meisten Krystallen am glänzendsten, eine schwache Streifung parallel den Seitenkantenlinien bemerkbar. Die Rhomboöederflächen sind weniger glänzend und ein Wenig convex, dabei zeigt sich, was auch die Figur ausdrücken soll, eine schwache federförmige Streifung, deren Mittellinie durch eine schwarze Furche gebildet wird, welche nach den End-Ecken zu an Breite und Tiefe zunimmt. Die Streifen sind schwach gebogen, was im Zusammenhange mit der Convexität der Flächen stehen mag. Die Prismenflächen sind auch wenig glänzend und etwas convex wie die Rhomboöederflächen. Im Innern der beinahe ganz durchsichtigen Krystalle bemerkt man als Kern ein Scaloöeder, dem An-

sehen nach jedenfalls *R3*, mit weißer Oberfläche, welche das Licht nur spärlich durchläßt, weshalb die Kerne fast undurchsichtig erscheinen. Die klare Masse des den Kern umhüllenden Krystalls läßt unter mäßiger Vergrößerung pulverulente Kiestheilchen (Chalkopyrit, wie man an anderen Krystallen aus Derbyshire häufig findet) verstreut erblicken, welche sich in der Richtung der schwarzen Furchen ansammelten und dort durch ihre Menge die Trennung der Flächenhälften bewirkten. Die Anwesenheit des Kiesel während des weiteren Absatzes der Calcitmasse nach der Bildung der scalenoëdrischen Kerne war wahrscheinlich auch die Ursache der äußeren Gestalt.

4. *Aehnlicher Einschluss des Calcits in Calcit.* — Zwei Exemplare von *Nagyag* in *Siebenbürgen*, im Besitze desselben Kabinetts, zeigen aufgewachsene weiße durchscheinende Calcitkrystalle, welche vorherrschend das Scalenoëder *R3* darstellen, untergeordnet erscheinen die Prismenflächen ∞R und die Rhomboëderflächen $\frac{1}{2}R'$. Aus einzelnen Krystallen sieht man an den Enden die Enden eingeschlossener Krystalle hervorragen, welche durchsichtig und blaß graulich sind. An ihnen ist das Prisma vorherrschend, die andern beiden Gestalten sind untergeordnet. Nach der Bildung der inneren Krystalle änderte sich die Flüssigkeit, aus welcher sich ferner Calcit absetzte, wie die Aenderung der Farbe und metallisches Kupfer zeigt, welches analog den oft vorkommenden Kieskryställchen in Gestalt kleiner stark glänzender Körnchen durch die äußere Calcitmasse vertheilt und so als Einschluss erscheint. Die rothe Farbe des Kupfers giebt im Gemisch mit der weißen des Calcits eine eigene helle gelbliche Färbung, die nichts weniger als Kupfer vermuthen lassen würde. Die Krystalle sitzen auf fast dichtem graugelbem Calcit; begleitende Minerale sind sonst nicht sichtbar.

5. *Sideritkrystalle als Einschluss in Calcitkrystallen.* — Hr. H. v. Rosthorn in Wien war so freundlich, mir im vergangenen Jahre ein von ihm selbst gefundenes Handstück des Dolerits von *Dollendorf* im *Siebengebirge* am

Rhein zur Ansicht mitzutheilen, woran dicht gedrängte fest verwachsene stumpfe Rhomboëder des Siderits, zum Theil halbkuglig gruppirt, als Bekleidung eines Hohlraumes zu sehen sind. Auf dem gelbbraunen Siderit sitzen einzelne graulich weiße Calcitkrystalle, stumpfe Rhomboëder $\frac{1}{2}R'$ von ungefähr 15 Millimeter Breite im horizontalen Hauptschnitt. Einige derselben sind angebrochen und zeigen im Innern eine Einschachtelung gleichgestalteter Calcitkrystalle in der Art, daß die zuerst gebildeten Krystalle nicht direct durch neue Calcitmasse bedeckt wurden, sondern daß um sie eine etwas entfernt stehende Krystallschale gebildet wurde und so fort, mithin hohle Räume dazwischen liegen, welche mit locker angehäuften, unregelmäßig angeordneten braunen Sideritkryställchen R erfüllt sind. Obgleich Siderit und Calcit in der Krystallisation so nahe verwandt sind, und man erwartet hätte, wie Beobachtungen bei direct eingeleiteten Untersuchungen über homologe Ablagerung gezeigt haben, daß der Siderit sich auf den zuerst gebildeten Calcitkrystallen in regelmäßiger Lage abgesetzt haben würde, wurden die Calcitkrystalle mit Sideritkryställchen unregelmäßig besetzt, neue Calcitmasse dagegen setzte sich conform mit den erst gebildeten Krystallen ab und so entstand die Calcithülle trotz der unregelmäßigen Unterlage mit regelrechter äußerer Bildung. Auf diese setzte sich wieder Siderit ab, dann folgte eine neue Calcitablagerung und so fort, wodurch man an den zerbrochenen Calcitkrystallen bis vier conforme Schichten um einen Kern sieht, dazwischen die unvollständig erfüllten Hohlräume.

6. *Calcit*, eingeschlossen in *Calcit*. — Ein sehr nettes Beispiel unterbrochener Bildung und dadurch hervorgehender wiederholter Einschachtelung zeigt krystallisirter Calcit aus *Staffordshire* in *England*, im Besitze des K. K. Hof-Mineralien-Kabinetts in *Wien*.

Die Krystalle sind auf krystallisirtem und krystallinisch körnigem Fluorit aufgewachsen, grau, durchscheinend bis fast durchsichtig. Die Form derselben ist das spitze Rhom-

boëder $4R'$, an dessen Endecken man eine sehr untergeordnete neunflächige Zuspitzung erkennen kann, welche durch ein wenig spitzes Scalenoëder und ein dergleichen Rhomboëder gebildet wird. Beim Hindurchsehen durch den Krystall bemerkt man einen dunklen Krystallkern, welcher auf ein Scalenoëder in gleicher Stellung mit $4R'$ hinweist, jedoch ein weniger spitzes, wie man aus der Divergenz der Kantenlinien ersehen kann. Das Scalenoëder hat seine dunkel erscheinende Farbe einer Bedeckung der Oberfläche zu verdanken, gebildet von einem grünlich schwarzen Minerale, welches stellenweise krystallinische büschlige Parthien darstellt. Diese sind mitunter sehr deutlich und die dunkle pulverulente aufliegende Masse ist mehr in der Richtung der stumpfen oder der beiderlei Endkanten des Scalenoëders concentrirt, während die anderen Theile frei blieben. Die gesammte außerhalb des Kernes liegende Masse zeigt vier sich scharf abgränzende Umhüllungen und die vorherrschende Gestalt, welche nach der Kernbildung eintrat, ist die spitz-rhomboëdrische; die combinirte Scalenoëderform trat allmählich zurück und jede Pause in der Vergrößerung des Krystalls wird durch einen pulverulenten Niederschlag auf der jeweilig vorhandenen Krystallgestalt bezeichnet, die aber im Vergleich zum ersten sehr schwach sind. Die letzte derselben war reichlicher und ist von weißer Farbe. So sichtlich auch hierdurch die in der Weiterbildung eintretenden Pausen bezeichnet sind, so zeigen doch die Spaltungsflächen keine Unterbrechung, was für die Feinheit der pulverulenten Theilchen spricht, weil sie den kleinsten Calcittheilchen kein Hinderniß boten.

XI. *Ueber neue Verbindungen des Siliciums;* *von H. Buff und F. Wöhler.*

(Mitgetheilt von d. HH. Verf. aus d. Göttinger Nachrichten, Oct. 1857.)

1. *Siliciumwasserstoffgas.* Diese Verbindung, merkwürdig durch die Eigenschaft sich an der Luft von selbst zu entzünden, entsteht, wenn ein starker elektrischer Strom durch siliciumhaltiges Aluminium als positiven Pol in eine Lösung von Chlornatrium geleitet wird. Ihre quantitative Zusammensetzung ist noch unausgemittelt, da es bis jetzt noch nicht gelang, sie rein und frei von beigemengtem Wasserstoffgas zu erhalten. Nur so viel scheint festzustellen, daß der mit dem Silicium verbundene Wasserstoff eine Verdichtung erlitten hat. Ihre Bildung und der paradoxe Umstand, daß in diesem Falle an beiden Polen nur Wasserstoffgas auftritt, beruht darauf, daß sich an dem positiven Pole gleichzeitig Chloraluminium und Thonerde bilden, welche letztere mit ersterem zu einem basischen Salz verbunden aufgelöst bleibt. Siliciumhaltiges Aluminium als negativen Pol angewandt, bildet kein Siliciumwasserstoffgas. Dagegen entsteht es, wiewohl stets mit so viel freiem Wasserstoffgas gemengt, daß es nicht mehr selbstentzündlich ist, bei der Auflösung von siliciumhaltigem Aluminium in Chlorwasserstoffsäure. — Mit Luft in Berührung gebracht, entzündet sich das Siliciumwasserstoffgas sogleich von selbst und verbrennt mit weißer Flamme unter Bildung eines Rauchs von weißer Kieselsäure. Eine kalte Fläche gegen die Flamme gehalten, belegt sich mit braunem amorphem Silicium. Wird das Gas durch ein glühendes Glasrohr geleitet, so wird es zersetzt, indem sich die Wände des Glases mit braunem Silicium belegen. Mit Chlorgas detonirt es so heftig wie mit Sauerstoffgas.

2. *Siliciumchlorür - Chlorwasserstoff*, $\text{Si}^2 \text{Cl}^3 + 2\text{H Cl}$, entsteht, wenn Silicium noch nicht bis zum sichtbaren Glühen in einen Strom von getrocknetem Chlorwasserstoffgas

erhitzt wird. Das hierbei frei werdende Wasserstoffgas nimmt kein Silicium auf. Die Verbindung ist ein farbloses, leicht bewegliches, an der Luft stark rauchendes Liquidum von 42° Siedepunkt und 1,5 specifischem Gewicht. Mit Wasser zersetzt es sich augenblicklich in Chlorwasserstoff und weißes Siliciumoxyd. Sein Dampf ist so entzündlich wie Aetherdampf und verbrennt, mit Sauerstoffgas vermischt und durch den elektrischen Funken entzündet, mit heftiger Explosion unter Bildung von Kieselsäure, Siliciumchlorid und Chlorwasserstoff. Dampfförmig durch ein glühendes Rohr geleitet, wird es zersetzt in amorphes Silicium, Siliciumchlorid und Chlorwasserstoff. Ueber schmelzendes Aluminium geleitet, entbindet es freies Wasserstoffgas.

3. *Siliciumbromür - Bromwasserstoff*, $\text{Si}^2\text{Br}^3 + 2\text{HBr}$, entsteht auf dieselbe Weise wie das Chlorür. Es ist eine diesem sehr ähnliche, stark rauchende, mit Wasser sich zersetzende Flüssigkeit.

4. *Siliciumjodür - Jodwasserstoff*, $\text{Si}^2\text{I}^3 + 2\text{HI}$, ist ein dunkelrother, krystallinischer, fester Körper, leicht schmelzbar und flüchtig. An der Luft raucht es, wird zuerst zinnoberroth, zuletzt schneeweiß; in Wasser zersetzt es sich auf dieselbe Weiss, jedoch langsamer als die andern Verbindungen. Aus Schwefelkohlenstoff, worin es mit blutrother Farbe in Menge löslich ist, kann es krystallisirt erhalten werden.

5. *Siliciumoxyd-Hydrat*, $\text{Si}^2\text{O}^3 + 2\text{HO}$. Es entsteht bei der Zersetzung der vorhergehenden Verbindungen mit Wasser. Man erhält es in Menge als Nebenproduct bei der Bereitung des Chlorürs, indem man das aus dem unter 0° abgekühlten Condensationsgefäß fortgehende mit Chlorür gesättigte Wasserstoffgas und überschüssige Salzsäuregas in Wasser leitet, welches stark abgekühlt erhalten wird. Es ist ein schneeweißer, amorpher Körper, im Ansehen wesentlich verschieden von der aus Verbindungen abgeschiedenen Kieselsäure. Es ist sehr leicht und schwimmt auf Wasser. In Aether sinkt es unter. Von

Alkalien, sowohl kaustischen als kohlensauren, selbst von Ammoniak, wird es unter schäumender Wasserstoffgas-Entwicklung zu kieselsaurem Alkali aufgelöst. Säuren, selbst concentrirte Salpetersäure, sind ohne Wirkung darauf; nur von Flußsäure wird es unter lebhafter Wasserstoff-Entwicklung aufgelöst. Es kann bis 300° ohne Veränderung erhitzt werden, aber darüber entzündet es sich und verglimmt lebhaft und mit phosphorescirendem Licht, indem sich zugleich Wasserstoffgas entwickelt, das sich mit Explosion entzündet. In Sauerstoffgas erhitzt, verbrennt es mit glänzender Feuererscheinung. In einem bedeckten Tiegel erhitzt, hinterläßt es nicht weißse, sondern durch amorphes Silicium braun gefärbte Kieselsäure. Durch Versuche wurde bewiesen, daß es beim Erhitzen ohne Luftzutritt oder in Wasserstoffgas in der That Siliciumwasserstoffgas entwickelt, aber erst bei einer Temperatur, bei welcher der größte Theil dieses letzteren wieder in Wasserstoffgas und braunes Silicium zersetzt wird.

Das Siliciumoxydhydrat ist in Wasser etwas löslich. Diese Lösung befindet sich aber in fortwährender Zersetzung unter Entwicklung von Wasserstoffgas. Frisch bereitet wirkt sie kräftig reducirend; aus Goldchlorid z. B. reducirt sie sogleich metallisches Gold, aus Palladiumchlorür schwarzes Palladium, aus seleniger Säure rothes Selen, aus telluriger Säure graues Tellur. Mit salpetersaurem Silber übergossen wird das Oxyd sogleich hellbraun; mischt man Ammoniak hinzu, so wird es in schwarzes kieselsaures Silberoxyd verwandelt.

Nachdem die Verfasser in der Abhandlung die Analysen, aus denen die obige Formel abgeleitet wurde, im Einzelnen beschrieben haben, heben sie hervor, daß bei den meisten Analysen der Siliciumgehalt um mehr als $\frac{1}{2}$ Proc. zu hoch gefunden worden sey, während die möglichen Fehlerquellen ihn eher zu niedrig geben müßten, ja daß sie Arten von Oxyd analysirt haben, deren Siliciumgehalt um mehr als 2 Proc. höher gefunden wurde, als der obigen Formel entpricht, welche die wahre Zusammensetzung aus-

drücken muß, da sie mit der des Chlorürs, aus welchem das Oxyd entsteht, übereinstimmend ist. Diese Oxyde seyen auch auffallend dadurch charakterisirt gewesen, daß sie lebhafter verbrannten, und zwar mit rother Flamme, und daß sie dabei selbst bei vollem Luftzutritt keine weißse, sondern eine durch unverbranntes Silicium mehr oder weniger braungefärbte Kieselsäure hinterließen, so daß sie bei der Analyse zuvor durch Ammoniak in Kieselsäure verwandelt werden mußten. Aus diesen und anderen in der Abhandlung angegebenen Umständen halten es die Verfasser für höchst wahrscheinlich, daß es ein an Silicium noch reicheres Oxyd und folglich auch ein diesem entsprechendes niedrigeres Chlorür geben müsse, welches unter gewissen Umständen entstehe und dem anderen häufig beigemischt sey. Alle ihre Bemühungen, hierüber positive Gewißheit zu erlangen und Producte von constanter und mit wahrscheinlichen Formeln stimmender Zusammensetzung zu erhalten, waren bis jetzt fruchtlos. Indessen werden die Verfasser, sobald sie wieder im Besitz von Silicium sind, diese Untersuchungen fortsetzen, um so mehr, als sie hoffen, dadurch die immer noch nicht entschiedene Frage, ob die Kieselsäure SiO^3 oder SiO^2 sey, zur Entscheidung zu bringen. Hier sey nur noch vorläufig erwähnt, daß sie Arten von Siliciumoxyd unter Händen hatten, deren Zusammensetzung sehr nahe der Formel $\text{SiO} + \text{Si}^2 \text{O}^3 + 3\text{HO}$ entsprach, und, wie es scheint im Zusammenhang hiermit einmal ein weniger flüchtiges Chlorür, welches die merkwürdige Eigenschaft hatte, sich beim Erhitzen bis zum Sieden von selbst zu entzünden und mit rother funkelnder Flamme von selbst fortzubrennen, unter Abscheidung einer großen Menge von amorphem Silicium.

XII. Ueber Stickstoffsilicium und Stickstoffbor.

(Aus einem Briefe des Prof. Wöhler an den Herausgeber.)

— Das neue Siliciumchlorür, $\text{Si}^2\text{Cl}^3 + 2\text{HCl}$, hat noch dadurch an Interesse gewonnen, daß man damit eine Verbindung von Stickstoff mit Silicium hervorbringen kann. Ich sättigte es mit Ammoniakgas, was unter sehr starker Erhitzung stattfand, und erhielt einen weissen, pulverigen Körper, der ein Gemenge von Salmiak mit einer Verbindung von Siliciumchlorür und Ammoniak ist. Wird diese Masse erhitzt, so sublimirt sich viel Salmiak; es entweicht Ammoniak und es bleibt eine weisse, feuerbeständige Substanz. Diese ist Stickstoffsilicium. Um es sicher frei von Salmiak zu erhalten, setzte ich die Masse in einen, in einem Kohlentiegel stehenden Porcellantiegel einem sehr starken Coaksfeuer aus. Das Stickstoffsilicium blieb als eine weisse, sehr leichte und lockere Masse zurück. Es verträgt eine Temperatur, bei der Nickel schmilzt, ohne zu schmelzen oder sich zu zersetzen. Auch scheint es beim Glühen an der Luft unveränderlich zu seyn, wenigstens verbrennt es nicht. Es wird selbst von kochender Kalilauge nicht verändert, aber mit Kalihydrat geschmolzen, entwickelt es eine grofse Menge Ammoniak. Mit Mennige erhitzt, reducirt es unter Feuerscheinung und Bildung von salpetriger Säure das Blei. Mit kohlensaurem Natron geschmolzen, verhält es sich auf dieselbe Weise, wie ich es vom Stickstoffbor gezeigt habe; es bildet mit dem Kohlenstoff der Kohlensäure Cyan. Die geschmolzene Masse ist ein Gemenge von kieselsaurem und cyansaurem Kali. Ich habe damit wohl charakterisirten Harnstoff dargestellt. Nimmt man einen Ueberschufs von Stickstoffsilicium, so bildet sich zugleich Cyankalium, mit dem ich Berlinerblau machen konnte. Deville hat das Stickstoffsilicium auch mit der Ammoniak-Verbindung des gewöhnlichen Chlorids, SiCl^3 ,

hervorgebracht. Wir werden daher die nähere Untersuchung gemeinschaftlich fortsetzen.

Wir haben neulich, als er einige Tage hier war, noch mehrere Versuche über das Bor gemacht. Wir fütterten einen hessischen Tiegel mit amorphem Bor aus, steckten eine Stange Aluminium hinein, stellten ihn dann, bedeckt und umgeben mit einer dicken Lage von frisch ausgeglühtem Kohlenpulver, in einen zweiten gröfseren Tiegel, und setzten ihn gegen 3 Stunden lang dem heftigsten Coaksfeuer aus. Auf der Oberfläche des Aluminiums fanden sich prächtige gelbe und braune Krystalle von durchsichtigem Bor, wovon sich noch eine gröfsere Zahl, zugleich mit blafs kupferfarbenen sechsseitigen Tafeln von graphitförmigem Bor, bei der Auflösung des Aluminiums in Salzsäure abschied. Wir haben diesen Körper nie in schöneren und reineren Krystallen erhalten.

Was aber viel merkwürdiger ist, als dieser Uebergang aus dem amorphen Zustand in den krystallisirten, der vor auszusehen war, ist die Thatsache, dafs das übrige Bor gröfstentheils in Stickstoffbor verwandelt war. Es war grau geworden und entwickelte nun, mit Kalihydrat geschmolzen, eine grofse Menge Ammoniak. Das Bor hat also, gleich dem Titan, die merkwürdige Eigenschaft, in sehr hoher Temperatur das die Tiegelwände durchdringende Stickgas der Ofenluft zu binden.

Diefs veranlafste uns zu dem Versuche, amorphes Bor in getrocknetem Ammoniakgas zu erhitzen. Als das böhmische Rohr, worin das Bor lag, kaum zum Glühen gebracht war, entzündete sich letzteres und verbrannte unter lebhafter Feuererscheinung mit Entwicklung von Wasserstoffgas zu weifsem Stickstoffbor, das alle die Eigenschaften hatte, die ich früher von diesem Körper angegeben habe.

Göttingen den 19. October 1857.

W.

XIII. *Neue stereoskopische Erscheinung.*

Hr. Cima, Professor der Physik in Turin, hat uns, sagt der Herausgeber des *Cosmos* auf p. 353 Vol. XI seiner Zeitschrift, die Beschreibung eines stereoskopischen Versuchs übersandt, der nicht ohne Interesse ist. Er nimmt eine Abbildung, gleichviel in Kreide, Steindruck oder Kupferstich, die einen Kopf von vorne darstellt, etwa 3 oder 4 Centimeter hoch. Diese schneidet er in zwei Theile, längs einer Linie, die mit der Verticalaxe der Nase zusammenfällt; mit jeder Hand faßt er eine dieser Hälften und, beide immer in derselben lothrechten Ebene haltend, bringt er sie vor den Augen in einen Abstand, der kleiner ist als der des deutlichen Sehens; dann läßt er die optischen Axen convergiren, und nähert oder entfernt die beiden Zeichnungen, bis es ihm gelingt von jeder derselben zwei Bilder zu sehen, und bis die beiden mittleren Bilder sich decken, so daß sie den Eindruck eines ganzen Gesichtes machen. Wenn man diesen Versuch zum ersten Male macht, sagt Hr. Cima, wird man mit Erstaunen sehen, daß das Vollgesicht, welches somit aus der Ueberdeckung der Bilder beider Hälften entstanden ist, in sehr hohem Grade den Eindruck eines körperlichen Gegenstandes macht. Die Halbdunkel zerfließen und vermischen sich wie in einer modellirten Figur; die Nase sondert sich sehr gut vom Gesichte ab; Augbraunen, Lippen und Kinn, sind sehr hervortretend, die ganze Gestalt hebt sich ab von dem Grunde, auf dem sie gezeichnet ist, und gewinnt einen auffallenden, man möchte sagen, lebenden Ausdruck. Der zur Hervorbringung des größten Effects erforderliche Abstand der beiden Halbgesichter von einander und von den Augen des Beobachters ist verschieden von einem Individuum zum andern und kann nur durch Probiren aufgefunden werden. Je mehr man die beiden Bilder fixirt, desto mehr verstärkt sich die Empfindung des Reliefs.

XIV. *Ueber die Transformation des flüssigen Cylinders; von Beer in Bonn.*

In einer Notiz, welche in diesen Annalen erschienen ist, sowie in der daselbst erwähnten Gelegenheitsschrift habe ich den Versuch gemacht, die Transformation des flüssigen Cylinders aus der Annahme zu erklären, es bleibe die flüssige Masse während ihrer Umformung von einer Fläche begränzt, die aus abwechselnden cylindrischen und ampuln förmigen Theilen zusammengesetzt ist, von denen die einen und anderen, für sich genommen, den Bedingungen des Gleichgewichtes genügen. Ich verdanke nun über diesen Gegenstand der Güte des Hrn. Plateau eine Berichtigung, die ich nicht unterlassen darf zu veröffentlichen. Derselbe machte mich nämlich darauf aufmerksam, daß die verschiedenen Phasen, welche sich aus jener Annahme ergeben, wesentlich von den Gestalten abweichen, wie sie sich im Versuche darbieten und wie er sie in seiner zweiten Reihe von Experimental - Untersuchungen über die Gleichgewichts-Figuren der Flüssigkeiten beschrieben und abgebildet hat. Die Meridian-Curve der Oberfläche zeigt nämlich fortwährend einen stetigen Verlauf der Krümmung wenigstens bis zu dem Punkte, wo die fadenförmigen Verbindungsstücke der größeren Massen auftreten, und diese Verbindungsstücke selbst zeigen einen sehr kleinen Durchmesser. Es versteht sich hiernach von selbst, daß die von mir gemachte Annahme unstatthaft ist.